

Dejan Živaković, dipl.ing
HEP – ODS d.o.o.
Dejan.zivakovic@hep.hr

ISKUSTVA S MJERENJEM POTENCIJALA UZEMLJIVAČA

SAŽETAK

Prelazak s izolirane na maloomsku uzemljenu srednjenaponsku mrežu uzrok je znatnom povećanju potencijala uzemljivača tijekom jednopolnog kvara. Zbog toga je u Elektroslavoniji izvršeno mjerenje potencijala u svim TS 10/0,4 kV koji se napajaju iz TS 35/10 kV u kojima se priprema uzemljenje neutralna točke, kao i mjerenje napona dodira i koraka. Rad će opisati mjerene postupke i analizu izmjerenih rezultata i prikazati rješenja za odklanjanje nedostataka

Glavne riječi: potencijal, uzemljenje, napon dodir i koraka

EXPERIENCES POTENTIAL MEASUREMENTS GROUND

SUMMARY

Transition from medium voltage network with insulated neutral to low resistance earthed is a cause of increasing grounding potential during earth fault. Therefore, in Elektroslavonija made measuring potential in all TS 10 / 0.4 kV are powered by TS 35/10 kV which is prepared grounding neutral points and measuring the contact voltage and steps. The paper will describe the measured procedures and analysis of the measured results and display solutions for the rejection of defects.

Key words: potential, grounding, touch voltage, steps voltage

1. UVOD

Svi elektroenergetski objekti imaju metalne dijelove koji moraju biti međusobno povezani i moraju zadovoljiti određene kriterije električne sigurnosti potrebne za sigurnost ljudi koji s njima dolaze u posredan ili neposredan kontakt. Ovo se posebno odnosi na sustav uzemljenja, koji mora biti dimenzioniran tako da u slučaju kvara na električnom dijelu postrojenja napon dodira koji se javlja na uzemljenim metalnim konstrukcijama ostane unutar dopuštenih granica. Srednje naponska 10 kV mreža grada Osijeka priređena je velikim dijelom za uzemljenje preko maloomskih otpornika koji su predviđeni za ograničenje struje jednopolnog kratkog spoja na 300 A. Iako vođeni raznim dobrobitima u radu uzemljene mreže, zbog dobro poznatih problema s nedopušteno visokim potencijalima združenih uzemljivača i visokim naponima dodira na pojedinim stupovima odustalo se od uzemljenja do sanacije problematičnih uzemljivača. Posebnu problematiku predstavljaju visoki naponi dodira i koraka na pojedinim stupovima ZDV 10 kV čak i u uvjetima vrlo niskog specifičnog otpora tla, koji se u Slavoniji

kreće od 60 do 200 Ω m. Kako je u međuvremenu izgrađeno dosta novih stanica 10/0,4 kV, a i prošlo je više od 5 godina od zadnjih mjerenja, odlučeno je da se ponove sva mjerenja potencijala u svim TS 10/0,4 kV koji se napajaju iz navedene TS 35/10kV.

2. SIGURNOSNI KRITERIJI

Impedancija združenog uzemljenja TS 10(20)/0,4 kV odabire se s obzirom na najveći potencijal koji se može iznijeti iz transformatorske stanice nultim vodičem. Ako je mreža izolirana ili kompenzirana, dopuštena impedancija uzemljenja određuje se prema izrazu (1) kojim nije uzeto u obzir redukcijsko djelovanje voda.

$$Z \leq \frac{U_d(t)}{I_z} \quad (1)$$

gdje je:

$U_d(t)$ - dopušteni napon dodira u funkciji njegovog trajanja

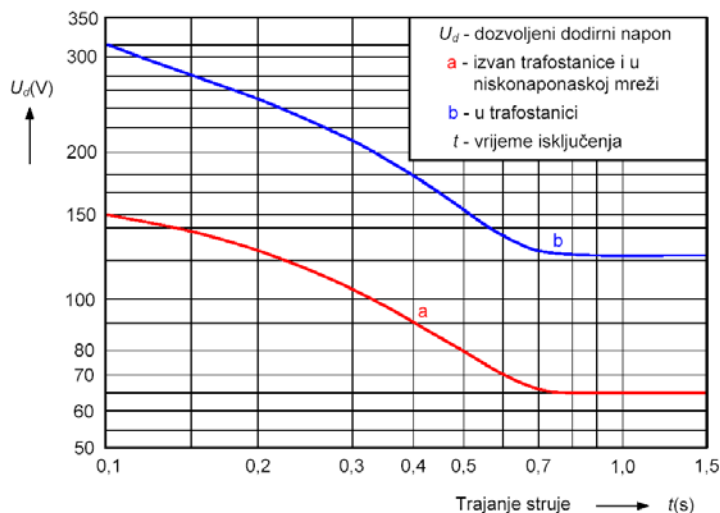
I_z - ukupna kapacitivna struja izolirane mreže ili preostala struja kompenzirane mreže.

Ako je mreža uzemljena preko maloomskog otpornika tada se dopuštena impedancija određuje prema izrazu (2), gdje je r redukcijski faktor napojnog voda, a I_K ukupna struja zemljospoja:

$$Z \leq \frac{U_d(t)}{r I_K} \quad (2)$$

2.1 Dopušteni napon dodira

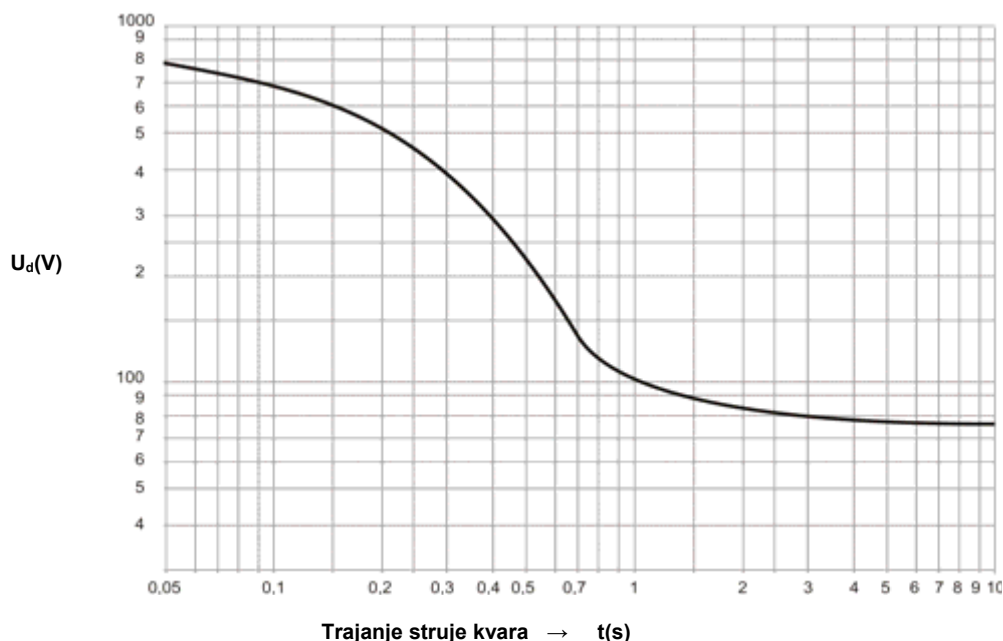
U vremenu mjerenje bio je na snazi *Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica* koji definira napon dodira kao funkciju vremena i mjesta indirektnog dodira, pri čemu se razlikuju sigurnosni kriteriji dopuštenih iznosa napona napona kod dodira u, i izvan transformatorske stanice. Kao trajni dopušteni napon definiran je napon od 65 V, pri čemu se trajnim smatra svaki onaj napon koji traje 1 s ili dulje.



Slika 1. Dopušteni napon dodira prema Pravilniku o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica

2010. godine donesen je novi *Pravilnik o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV*. U članku 56., stavku 1. ovog pravilnika stoji da se pri projektiranju, pogonu i održavanju uzemljivačkih sustava EE postrojenja mora pridržavati odredbi norme *HRN HD 637 S1*. Prema ovoj normi dopušteni napon dodira znatno je veći u odnosu na onaj koji je definiran *Pravilnikom o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica*. Uspoređujući ove vrijednosti napona za trajanje struje kvara od 0,5 s, što je najčešće vrijeme djelovanja zemljospojne zaštite, *HD 637 S1* dopušta 140 V veći napon dodira. Kako je danom stupanja na snagu novog pravilnika prestao važiti stari *Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V*, a nije prestao važiti *Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica*, trenutno imamo situaciju u kojoj

dva pravilnika propisuju potpuno drugačije vrijednosti. Dopusćena impedancija uzemljenja dalekovodnih stupova određena je pak dvama kriterijima, prema kriteriju dopuštenog potencijala uzemljivača (članak 74. *Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih EE vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV*), te prema kriteriju dopuštene impedancije uzemljivača kod koje povratni preskok nije vjerojatan (članak 83.). Prema članku 74, dopušćeni potencijal uzemljivača stupa iznosi 125 V, ako mreža radi izolirano, a dopušćeni napon dodira uopće se ne definira pa teorijski može imati bilo koju vrijednost od 0 do 125 V. Ako je mreža uzemljena preko maloomskog otpornika, ovim pravilnikom se uopće ne definira dopušćeni potencijal nego se samo propisuje obveza primjene tipskog uzemljivača. Posljedica ove nelogičnosti je činjenica da se mjerenjem napona dodira, prije uzemljenja neutralne točke mreže, često utvrđuju nedopusćeno visoke vrijednosti unatoč primjeni tipskih uzemljivača. Kako je u praksi velik broj problema pri prelasku na uzemljeni režim rada mreže vezan upravo uz prevelike napone dodira izmjerene na stupovima, velika bi pomoć pri rješavanju ovog problema bilo usklađivanje s vrijednostima koje definiraju norme za nadzemne vodove *HRN EN 50341-2 "Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 45 kV"* i *HRN EN 50423-2 "Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 1 kV do uključivo 45 kV"*, koje u pogledu napona dodira propisuju vrijednosti jednake onima koje propisuje i *HD 637 S1*.



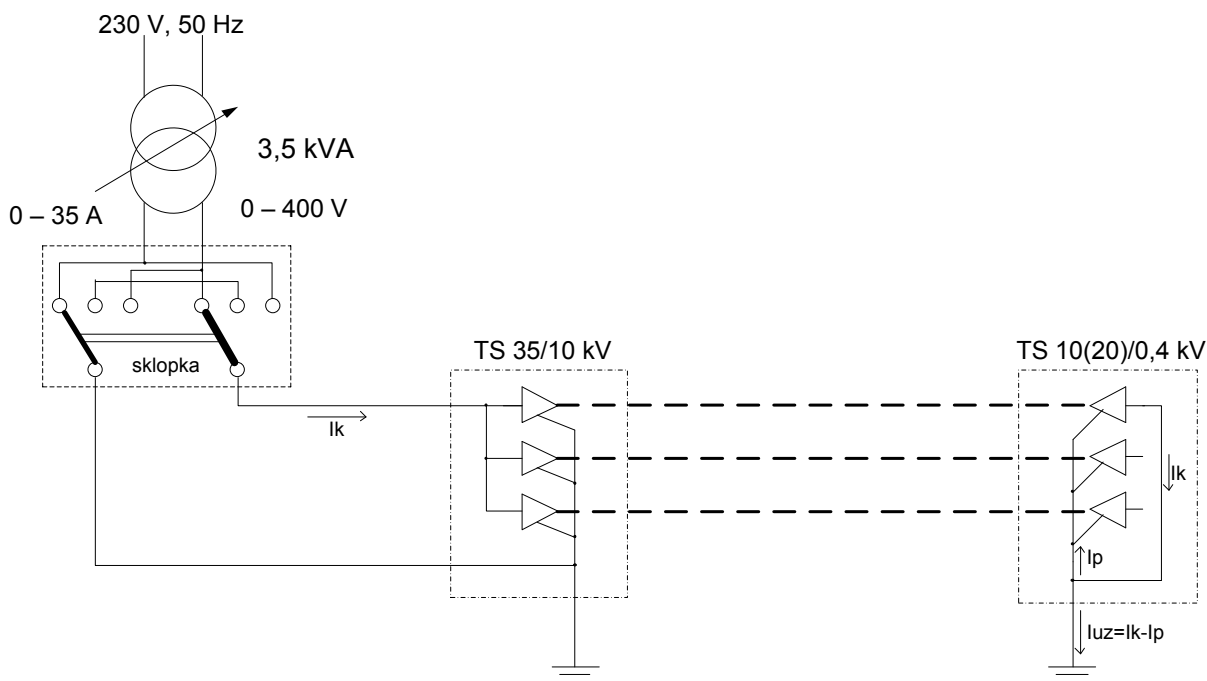
Slika 2. Napon dodira u ovisnosti o struji prema HD 637 S1

Dopusćeni napon dodira ovisi o vremenu trajanja struje jednopolnog kratkog spoja, koje je određeno podešenjem zemljospojne zaštite. Vrijeme trajanja kvara različito je u *Pravilniku o tehničkim normativima za zašćitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica* i *HRN HD 637 S1*. U pravilniku trajni kvar smatra se svaki kvar od 1 s ili duži, dok kod *HRN HD 637 S1* to vrijeme iznosi 5 s ili više.

Kod analize rezultata mjerenja koja su provedena odlučeno je da se kao mjerodavan uzme *Pravilniku o tehničkim normativima za zašćitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica*.

3. MJERNA METODA

Mjerenja potencijala i napona dodira i koraka provodi se U-I metodom. Shema mjerenja dana je na slici 2. Kao izvor struje korišćen je regulacijski transformator nazivne snage 3,5 kVA, ulaznog napona 230 V s mogućnošću regulacije struje sekundara 0-35 A uz sekundarni napon 0-400 V.



Slika 3 Shema mjerenja potencijala

Kao pomoćni uzemljivači korišteni su uzemljivači napojnih TS 35/10 kV i može se smatrati da povratni put ispitne struje kroz zemlju potpuno odgovara povratnom struju kroz zemlju za slučaj stvarnog kvara. To vrijedi i u slučaju kada se mjerenje moralo provoditi iz nekog KTS-a 10/0,4 kV, a ne iz napojne točke jer povratni put kroz zemlju ne odstupa znatno od povratnog puta za slučaj napajanja iz osnovne napojne točke budući da se povratni putovi kroz zemlju razlikuju za manje od 10°. Mjerenje potencijala vršeno je na udaljenosti od cca 200 m od ispitivanog uzemljivača, što se može smatrati referentnom zemljom.

Vrijednost struje kvara pri kojoj je potencijal mjeren je bila oko 30 A, a rezultati su preračunati metodom linearne interpolacije na vrijednost najveće struje kvara od 300 A. Mjerenje potencijala obavljeno je sa svim priključenim plaštevima kabela. Za otklanjanje smetnji korištena je Erbacherova metoda promjene polariteta. Metoda promjene polariteta sastoji se u tome da se izvoru struje nakon beznaponske pauze okrene napon za 180° električnih. Napon koji nastaje kod proticanja struje kroz zemlju prije promjene polariteta označimo sa U_1 , nakon promjene polariteta sa U_2 , a napon smetnje kod iskopčane mjerne struje sa U_s . Pri tome se također mjere ekvivalente struje I_1 , I_2 , i I_s . Na osnovu izmjerenih veličina prema izrazima (3) i (4) izračunavaju se stvarne veličine mjerodavne za daljnju obradu:

$$I_m = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2}{2} - I_s^2} \quad (3)$$

$$U_m = \sqrt{\frac{U_1^2 + U_2^2}{2} - U_s^2} \quad (4)$$

Mjerenje napon dodira obavljeno je u skladu s DIN VDE 0141 upotrebom voltmetara s unutarnjim predotporom vrijednosti 1 kΩ.

U svim TS 10/0.4 kV u kojima nije vidljivo mjesto združivanja radnog i zaštitnog uzemljenja izvršeno je privremeno združivanje za potrebe mjerenja koje je nakon mjerenja uklonjeno.

3.1 Uvjeti mjerenja

Sva mjerenja koja su provedena izvršena su pri temperaturi zraka od 15°C do 20 °C i umjerenoj vlažnosti zraka. Utjecaj smetnji od lutajućih struja zbog načina mjerenja nije zanemariv. Mjerenja su se provodila na način da se prvo puštala struja pod kutom 0° pa se strujnim kliještama izmjerila struja kvara,

struja kroz plašt i struja kroz uzemljivač. Mjerenja se ponavljaju nakon puštanja struje pod kutom 180° i na kraju se mjeri struja smetnje. Takav način mjerenja je dobar kada je prisutna statička smetnja (npr. katodna zaštita cjevovoda), ali kod dinamičkih smetnji kakve generiraju elektrovozila zbog neistovremenosti mjerenja unosi se dodatna pogreška. Mi smo u našim mjeranjima takvu smetnju probali eliminirati tako da smo mjerenja ponavljali sve dok smetnja nije utjecala na promjenu drugog *digitalnih* strujnih klijesta kojima je očitavana struja. Bolji način smanjenja utjecaja dinamičkih smetnji bio bi automatiziranje mjerenja uz istovremeno mjerenje u svim točkama, te što brža promjena smjera struje, ili korištenje izvora struje s frekvencijom koja se tek neznatno razlikuje od 50 Hz kako ne bi došlo do značajnije promjene reaktancija.

4. ANALIZA REZULTATA

U sklopu priprema za uzemljavanje neutralne točke preko maloomskog otpornika za ograničavanje struje jednopolnog kratkog spoja na 300 A u dvije TS 35/10 kV i provjere uzemljivača u jednoj TS 35/10 kV izvršeno je mjerenje na ukupno 117 objekata (TS 10/0,4 kV, R 10 kV i stupova ZDV 10 kV s rastalnim napravama). Mjerenje iznošenja potencijala u NN mrežu izvršeno je na 100 TS 10/0,4 kV, dok na R 10 kV i stupovima ZDV-a 10 kV s rastalnim napravama izvršeno je mjerenje napona dodira. Mreža napajana iz napojnih TS-a je većinom kabelska na gradskom području, pa je za očekivati je da će rezultati zadovoljavati uvjete iz *Pravilnika o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica*. Od ukupno 100 izmjerenih objekata 93 objekata su zadovoljila propisani kriterij. Prosječni izmjereni potencijal iznosio je 22,44 V. U sedam objekata vrijednost potencijala prelazila je 65 V (tablica I).

Tablica I pregled objekata koji prelaze potencijal od 65 V

rb	Mjereno iz	Mjerno mjesto	Uz (V) pri 300 A
1	TS Retfala (VP Višnjevac)	ŽSTS Podvožnjak (zaštitno uzemljenje)	2350,924
2	TS Retfala (VP Višnjevac)	ŽSTS Podvožnjak (radno uzemljenje)	62,983
3	TS Retfala (VP Višnjevac)	ŽSTS Odašiljač	65,054
4	TS Zapad (VP KTS 137)	KTS 236	102,79
5	TS Zapad (VP R Panonija)	PTTS 97	190,76
6	TS Zapad (VP R Panonija)	BKTS Slavonija tekstil	106,04
7	TS Zapad (VP R Panonija)	ŽSTS 117	65,75

Rezultati mjerenja napona dodira pokazali su da od 18 izmjerenih objekata na 4 je izmjeren nedopušteno veliki napon dodira. Rezultati svih mjerenja dani su tablici II.

Tablica II rezultati mjerenja napona dodira

rb	Mjereno iz	Mjerno mjesto	Ud (V) Pri 300 A
1	TS Retfala (VP Višnjevac)	Rastavljač za SBTS Podvožnjak	309,327
2	TS Retfala (VP Višnjevac)	Rastavljač za PTTS1 Višnjevac	0,827
3	TS Retfala (VP Višnjevac)	Rastavljač za ŽSTS 8 Višnjevac	28,835
4	TS Retfala (VP Višnjevac)	Rastavljač za ŽSTS 5 Josipovac	27,664
5	TS Retfala (VP Višnjevac)	Rastavljač za ŽSTS Odašiljač	62,983
6	TS Zapad (VP R Panonija)	R Panonija	9,166
7	TS Zapad (VP R Panonija)	Rastavljač za ŽSTS INA	36,984
8	TS Zapad (VP R Panonija)	R AMD Slavonac	47,415
9	TS Zapad (VP R Panonija)	Rastavljač za KTS 236	28,715
10	TS Centar (VP Vodar pumpa)	Rastavljač za PTTS 1 Tvrdavica	150,490
11	TS Centar (VP Vodar pumpa)	Rastavljač za ŽSTS 2 Tvrdavica	1,752
12	TS Centar (VP Vodar pumpa)	Rastavljač za ŽSTS 3 Tvrdavica	479,998
13	TS Centar (VP Vodar pumpa)	ŽSTS 3 Tvrdavica	11,777
14	TS Centar (VP Vodar pumpa)	Rastavljač za MBKTS 171	1131,904
15	TS Centar (VP Vodar pumpa)	Rastavljač odvojka na stupu br.2	25,752
16	TS Centar (VP Vodar pumpa)	Rastavljač za ŽSTS 2 Podravlje	3,892
17	TS Centar (VP Vodar pumpa)	Rastavljač za ŽSTS 1 Podravlje	65,836
18	TS Centar (VP Vodar pumpa)	Rastavljač za SBTS 249	2,378

Rezultati mjerenja ukazuju da napon dodira prelazi dopuštene vrijednost i ako se primjeni norma HRN HD 637 S1 za vrijeme trajanja struje kvara od 0,5 s. Uzrok ovakvim visokim vrijednostima napona dodira za mjerna mjesta napajana iz TS Centar (VP Vodar pumpa) leži u vrsti tla na kojem se nalaze stupovi ZDV-a sa odcjepnim rastavljačima. Naime, promatrana mjerna mjesta nalaza se uz desnu obalu rijeke Drave gdje je tlo pješčano i specifični otpor tla kreće se od 200 do 2000 Ωm , što je oko 10 puta više nego što specifični otpor tla u Slavoniji (od 60 do 200 Ωm). Ovakvi visoki rezultati napona dodira izmjereni su nakon sanacije uzemljivača dodavanjem još jednog prstena oko stupa. Zbog toga se moralo pristupiti drugačijem tehničkom rješenju ovoga problema.

4.1 Sanacija uzemljivača

Na temelju provedenih mjerenja krenulo se na sanaciju uzemljivača otklanjanjem uzroka koji su doveli do loših rezultata mjerenja. Sanaciji se pristupilo na način da se za sve objekte čiji su rezultati loši doda još jednog prstena uzemljenja od čelične trake, te ponovi mjerenje. Izuzetak su bili slijedeći objekti:

- KTS 236 gdje je povezan zaštitni uzemljivač stanice sa temeljnim uzemljenjem zgrade.
- PTTS 97 gdje je utvrđen prekid plašta kabela na napojnom 10 kV kabelu, te je predloženo da se u PTTS 97 ugradi radno uzemljenje. PTTS 97 pri uzemljenju TS Zapad mora raditi s razdvojenim radnim i zaštitnim uzemljenju.
- Uzemljivač BKTS Slavonija tekstil ne zadovoljava uvjete uzemljenja neutralne točke u TS Zapad s vremenom isključenja zemljospoja od 1 s. Kako sanacijom ovog uzemljivača potencijal nije znatnije smanjen neophodno je da se vrijeme zemljospojne zaštite na VP 10 kV u TS Zapad, R1 i TS Osijek 3 preko kojih se može napojiti BKTS Slavonija tekstil, ograniči na 0.3 s.
- Zaštitni uzemljivač ŽSTS Podvožnjak je prekinut i treba postaviti novi.

Problem predstavljaju stanice koje nisu u vlasništvu Elektroslavonije, te bi njihovu sanaciju trebali provesti vlasnici. To se odnosi na stanice ŽSTS Podvožnjak i ŽSTS Odašiljač. U tablici III prikazani su rezultati nakon sanacije uzemljivača.

Tablica III rezultati mjerenja potencijala nakon sanacije

rb	Mjereno iz	Mjerno mjesto	Uz (V)	Uz (V) pri 300 A prethodno mjerenje
			pri 300 A	
1	TS Zapad VP KTS 137	KTS 21 (združeno)	33,64	36,20
2	TS Zapad VP KTS 137	KTS 236 (združeno)	41,31	102,79
3	TS Zapad VP R Panonija	PTTS 97 (združeno)	201,99	190,76
4	TS Zapad VP R Panonija	BKTS Slavonija tekstil (združeno)	85,56	106,04
5	TS Zapad VP R Panonija	ŽSTS 117 (združeno)	67,04	65,57

Za rješenje previsokog napona dodira stupova ZDV-a 10 kV sa rastavnim napravama predložene su dvije mogućnosti: izjednačavanje potencijala ručice rastavljača i uzemljenja do udaljenosti od 1 m, ili izoliranje mjesta na kojem stoji operator prilikom manipulacije rastavljačem. Odabrano rješenje je da se mjesto na kojem stoji operator ugradi mrežasti uzemljivač na dubinu od 80 cm i spoji na zaštitni uzemljivač prekrije šljunkom i asfaltira. U tablici IV dani su rezultati ponovljenih mjerenja.

Tablica IV rezultati napona dodira nakon sanacije uzemljivača

rb	Izvod	Mjerno mjesto	Ud	Ud
			pri 300 A prvo mjerjenje	pri 300 A
1	TS Centar VP Vodar pumpa	Rastavljač za PTTS 1 Tvrđavica na stupu br.21	150,490	15,928
2	TS Centar VP Vodar pumpa	Rastavljač za ŽSTS 3 Tvrđavica na stupu br.7	479,998	0,874
3	TS Centar VP Vodar pumpa	Rastavljač za MBKTS 171 na stupu br.5	1131,904	13,228

Iz rezultata je vidljivo da predloženo rješenje daje rezultate, te bi bilo korisno ga kao tipsko rješenje za stupove ZDV-a na kojima se nalaze rastavljači, a mjerenje su pokazala nedopušteni dodirni napon. Na slici 4 dan je pregled raspjeta 10 kV mreže iz TS Zapad sa rezultatima mjerenja potencijala i napona dodira nakon sanacije uzemljivača.

4. ZAKLJUČAK

Uzemljenje srednjonaponske 10 i 20 kV mreže osim dobrobiti za rad mreže nosi sa sobom i problem previsokih potencijala uzemljivača. Donošenjem novog Pravilnika o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV primjena norme HD 637 S1 postala je obavezna, a normom propisani uvjeti znatno su oslabili kriterije za uzemljivače u SN mreži. No unatoč tome, zbog Pravilnika o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica koji je još na snazi problem ne samo da nije riješen nego je izazvao podijeljenost i zbunjenost u stručnim krugovima u pogledu obveze primjene propisa. Zbog toga uzimaju se stroži kriteriji koji da bi se zadovoljili dovode do visokih ulaganja. To je posebno izraženo kod uzemljenja stupova zračnih dalekovoda 10 (20) kV. Zbog toga je nužno iznaći jasno i ne dvosmisleno tehnički rješenje, uvažavajući tehno-ekonomsko optimiranje te sigurnost u prvom redu.

5. LITERATURA

- [1] N. Vrandečić, "Problem određivanja najveće dopuštene impedancije uzemljivača u mreži uzemljenoj preko maloomskog otpornika", CIREĐ, Sveti Martin na Muri, 13.-16. svibanj 2012.
- [2] D. Živaković, N. Vrandečić "Mjerenje redukcijskog faktora srednjenaponskih kablskih dalekovoda mješovitih dionica", CIGRE, Cavtat, 6.-10. Studeni 2011.
- [3] V. I. Balkovoj, M. R. Tanasković, "Granični potencijali i dimenzioniranje uzemljivača SN/0,4 kV/kV u uzemljenim elektrodistributivnim mrežama", Elektroprivreda, br.1 str. 53-67, 2007.
- [4] HRN HD 637 S1:2002, Električna postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV.
- [5] Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica, Sl. list SFRJ, br. 13/78, 1978.
- [6] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV, Sl. list SFRJ, br. 65/88, 1988.
- [7] Pravilnik o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV, Narodne novine br. 107/10, 2010.