

OTPOR SUSTAVA I KOMPONENTI UZEMLJENJA GRADSKE TS 10(20)/0.4 kV

Pavle F i l k o, Osijek

UDK 621.316.9
STRUČNI ČLANAK

Rad prikazuje mjerenje otpora rasprostiranja uzemljenja sustava uzemljivača gradske TS 10(20)/0.4 kV i analizira rezultate tih mjerenja. Cilj je pokazati udjele pojedinih komponenti uzemljenja međusobno i u odnosu na sustav uzemljenja. Mjerenje je izvršeno na stvarnoj mreži TS 10(20)/0.4 kV grada Osijeka.

Ključne riječi: sustav uzemljenja gradske TS 10(20)/0.4 kV, mjerenje otpora rasprostiranja uzemljivača, veličine pojedinih komponenti uzemljenja.

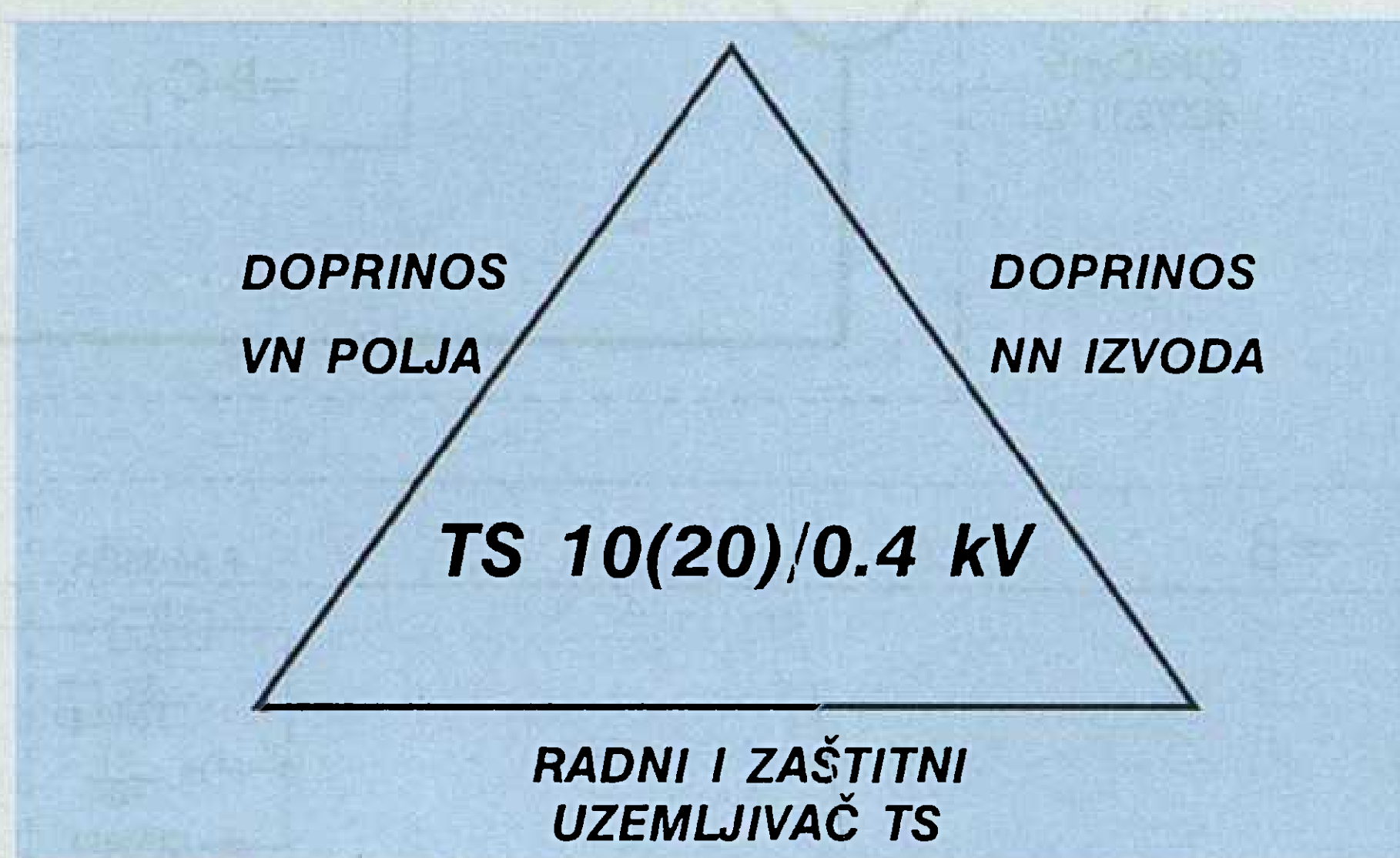
1. UVOD

Gradska TS 10(20)/0.4 kV jest najvažniji dio elektroenergetskog sustava u gradovima, jer se putem nje isporučuje električna energija najvećem broju svih potrošača – kupaca. Jedan od glavnih njenih dijelova je uzemljenje kao sustav međusobno galvanski spojenih uzemljivača, vodova za uzemljenje i sabirnih vodova za uzemljenje.

Izvedba sustava uzemljenja gradske TS 10(20)/0.4 kV ovisi o načinu uzemljenja neutralne točke napojne TS 110/10(20) kV, TS 110/35/10 kV ili TS 35/10(20) kV, tj. o ograničenoj struji jednopolnog kratkog spoja. Za naš slučaj to je struja 300 A. Takav sustav uzemljenja gradskih TS općenito možemo zamisliti kao trokut komponenti (slika 1). U njemu su stranice pojedini uzemljivači, tj. osnovni uzemljivač TS, dakle radni i zaštitni uzemljivač, zatim doprinos uzemljenju sustava od uzemljivača susjednih TS preko plašteva visokonaponskih napojnih kabela te treća stranica – doprinos uzemljenju sustava TS od uzemljivača niskonaponske mreže, putem nulvodiča i plašteva niskonaponskih kabela ili izvoda kojima iznosimo električnu energiju iz TS.

Zanimljivo bi bilo vidjeti koliki udio u ukupnom otporu sustava uzemljenja imaju pojedine komponente. Ovaj članak ima upravo taj cilj, da prikaže udjele otpora uzemljenja svih komponenti, u otporu uzemljenja sustava gradske TS 10(20)/0.4 kV, kako bi u procesu planiranja, projektiranja, pogona i održavanja iste mogli imati što optimalniji elektroenergetski objekt glede troškova sustava uzemljenja.

Stoga će se izvršiti mjerenje otpora rasprostiranja komponenti sustava uzemljivača na 20 odabranih TS u gradu Osijeku (što je nešto manje od 10 %) te analizirati dobivene vrijednosti.



Slika 1. Sustav uzemljenja TS 10(20)/0.4 kV

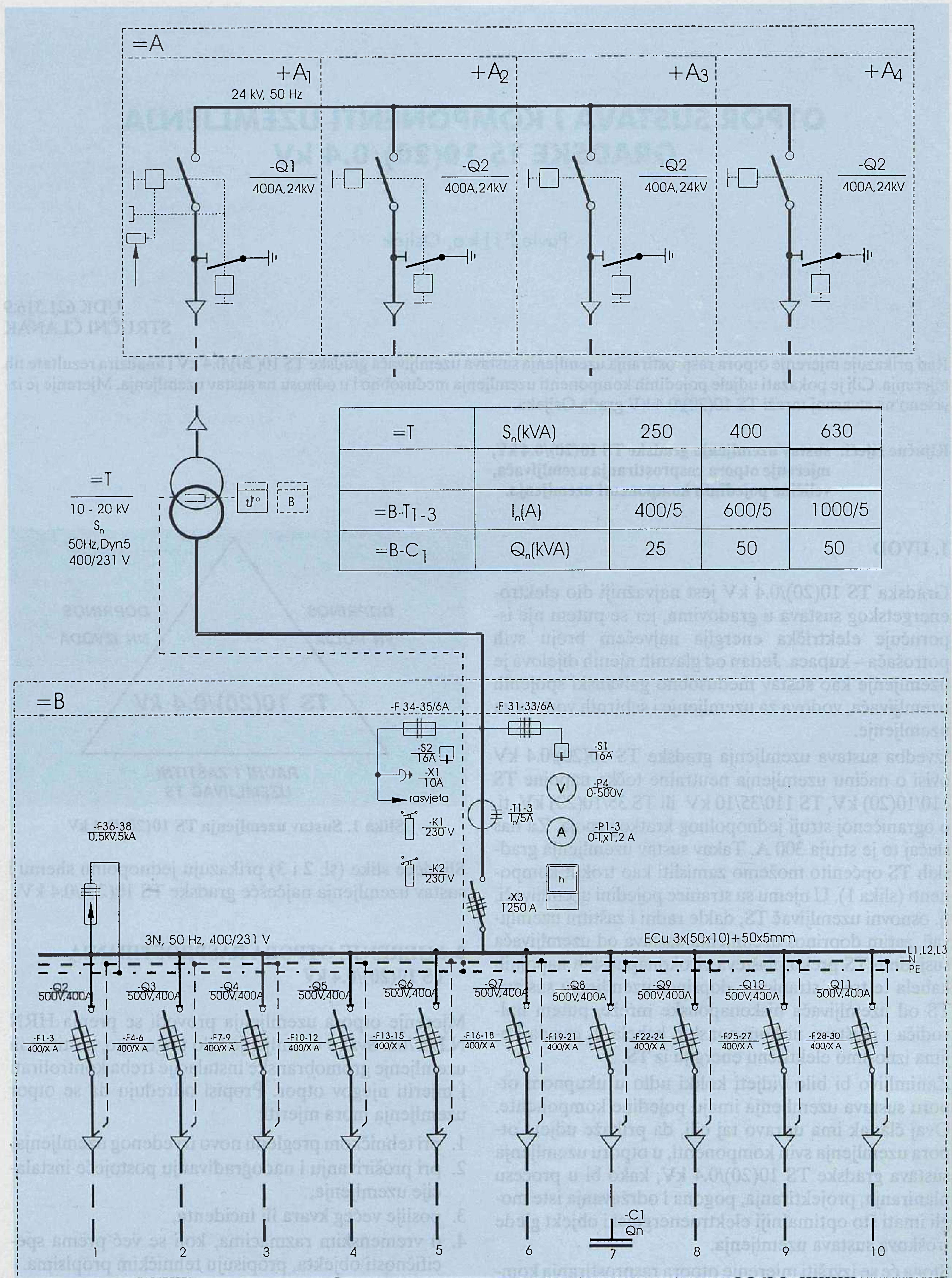
Sljedeće slike (sl. 2 i 3) prikazuju jednopolnu shemu i sustav uzemljenja najčešće gradske TS 10(20)/0.4 kV.

2. MJERENJE OTPORA RASPROSTIRANJA TS 10(20)/0.4 kV

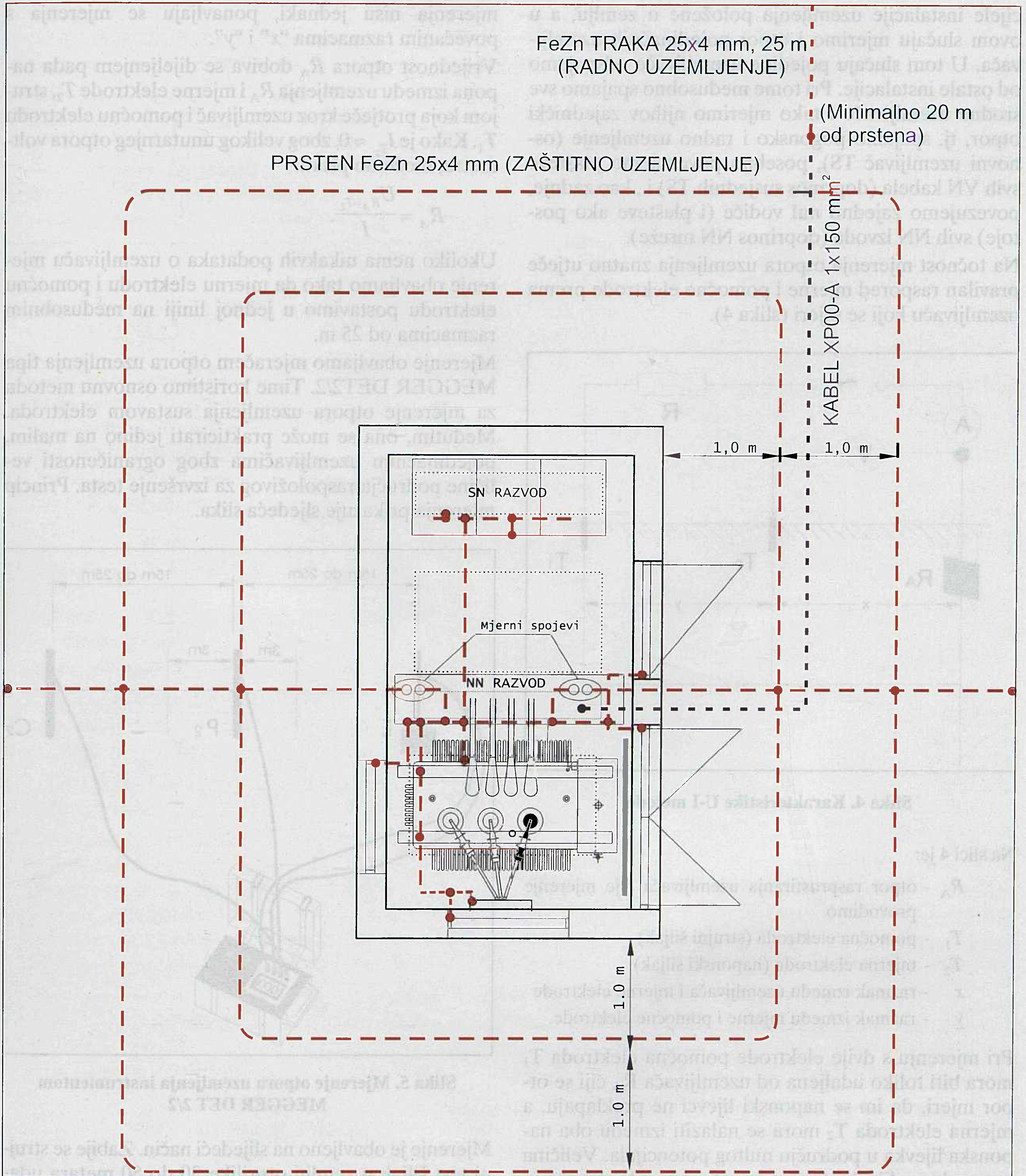
Mjerenje otpora uzemljenja provodi se prema HRN N.B2.762. Svako uzemljenje bilo pogonsko, zaštitno ili uzemljenje gromobranske instalacije treba kontrolirati i mjeriti njegov otpor. Propisi određuju da se otpor uzemljenja mora mjeriti:

1. pri tehničkom pregledu novo izvedenog uzemljenja,
2. pri proširivanju i nadograđivanju postojeće instalacije uzemljenja,
3. poslije većeg kvara ili incidenta,
4. u vremenskim razmacima, koji se već prema specifičnosti objekta, propisuju tehničkim propisima.

Pri mjerenju otpora uzemljenja treba uzeti u obzir da je otpor uzemljenja vrlo podložan promjenama koje su ovisne od vlažnosti tla. Radi moguće pojave polariza-



Slika 2. Jednopolna shema TS 10(20)/0.4 kV



Slika 3. Sustav uzemljenja TS 10(20)/0.4 kV

cije ne dopušta se uporaba istosmjerne struje za mjerenje otpora uzemljenja.

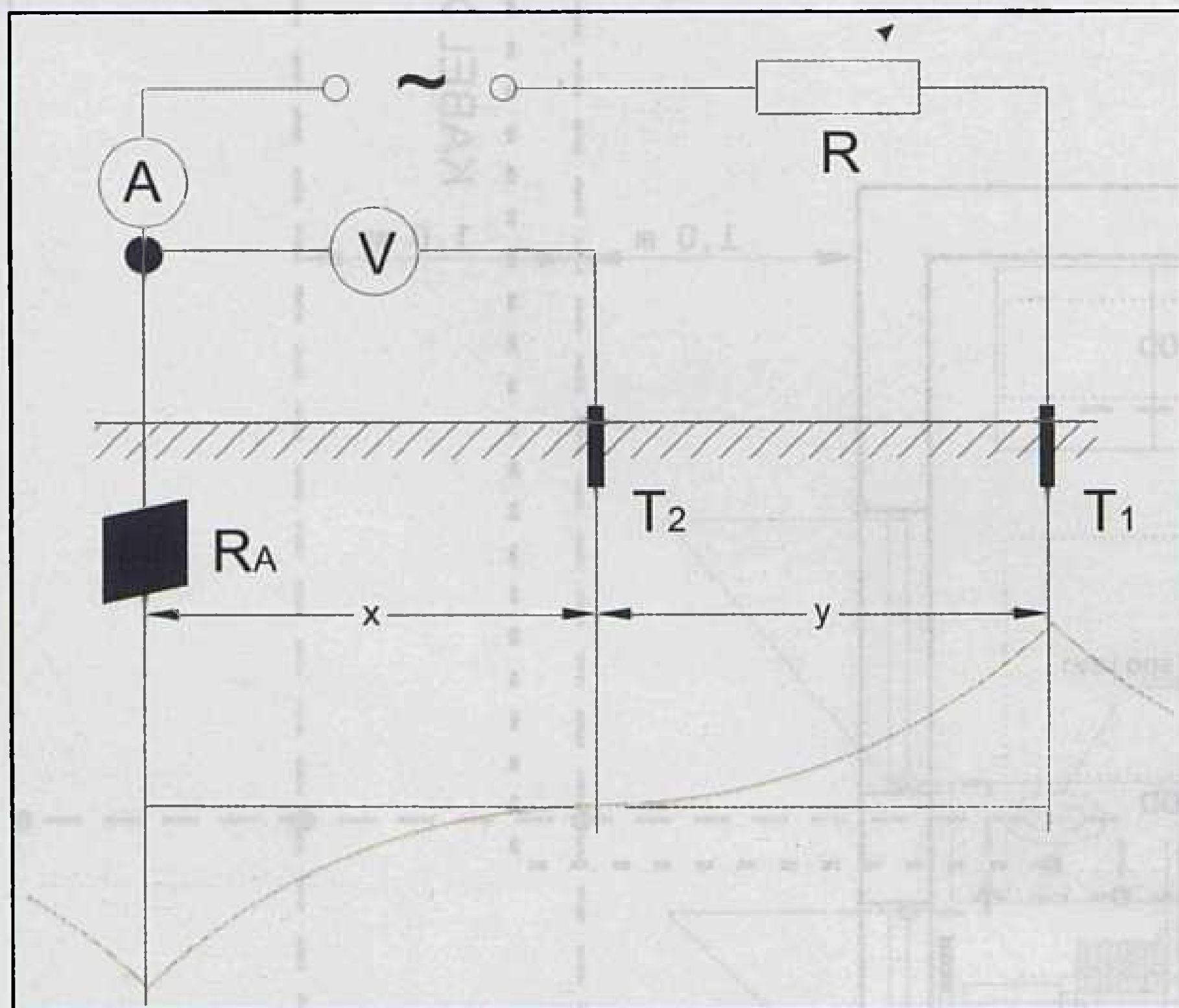
Mjerenje se obavlja izmjeničnim naponom. Ukoliko na rezultate mjerenja mogu utjecati lutajuće struje mrežne frekvencije ili istosmjerne struje, proizvođač mjernog uređaja to je dužan istaknuti na proizvodu. Naročito treba računati sa smetnjama iz postrojenja nazivne frekvencije $16\frac{2}{3}$, 50 i 60 Hz.

Kod mjernih uređaja koji imaju vlastiti izvor napajanja, mjerni napon mora imati frekvenciju koja se razlikuje za najmanje 5 Hz od umnoška nazivne frekvencije ispitivanog objekta s cijelim brojem i mora se nalaziti u području od 70 do 140 Hz.

Prije mjerenja moramo uzemljivač odvojiti od nadzemnog dijela instalacije, za što su predviđena posebna mjesta, tzv. mjerni spojevi. Normalno nas zanima otpor

cijele instalacije uzemljenja položene u zemlju, a u ovom slučaju mjerimo i otpor pojedinačnih uzemljivača. U tom slučaju pojedine uzemljivače odspajamo od ostale instalacije. Pri tome međusobno spajamo sve srodne uzemljivače i tako mjerimo njihov zajednički otpor, tj. spajamo pogonsko i radno uzemljenje (osnovni uzemljivač TS), posebno povezujemo plašteve svih VN kabela (doprinos susjednih TS) i, kao zadnje, povezujemo zajedno nul vodiče (i plašteve ako postoje) svih NN izvoda (doprinos NN mreže).

Na točnost mjerenja otpora uzemljenja znatno utječe pravilan raspored mjerne i pomoćne elektrode prema uzemljivaču koji se mjeri (slika 4).



Slika 4. Karakteristike U-I metode

Na slici 4 je:

- R_A - otpor rasprostiranja uzemljivača čije mjerenje provodimo
- T_1 - pomoćna elektroda (strujni šiljak)
- T_2 - mjerne elektrode (naponski šiljak)
- x - razmak između uzemljivača i mjerne elektrode
- y - razmak između mjerne i pomoćne elektrode.

Pri mjerenju s dvije elektrode pomoćna elektroda T_1 mora biti toliko udaljena od uzemljivača R_A čiji se otpor mjeri, da im se naponski lijevci ne preklapaju, a mjerne elektrode T_2 mora se nalaziti između oba naponska lijevka u području nultog potencijala. Veličina naponskog lijevka u ovisnosti je od dimenzija uzemljivača.

Radi provjere da li se mjerne elektrode T_2 ne nalazi u području potencijalnog lijevka uzemljivača potrebno je provesti još dva mjerenja. Mjerne elektrode T_2 pomakne se za 3-6 metara prema uzemljivaču, a zatim 3-6 metara prema pomoćnoj elektrodi, a pri tome pomoćna elektroda ne mijenja svoj položaj. Izmjereni otpori u sva tri mjerenja moraju biti praktično jednaki, što znači da su razmaci mjerne i pomoćne elektrode dobri i da je dobiveni rezultat točan. Ako rezultati

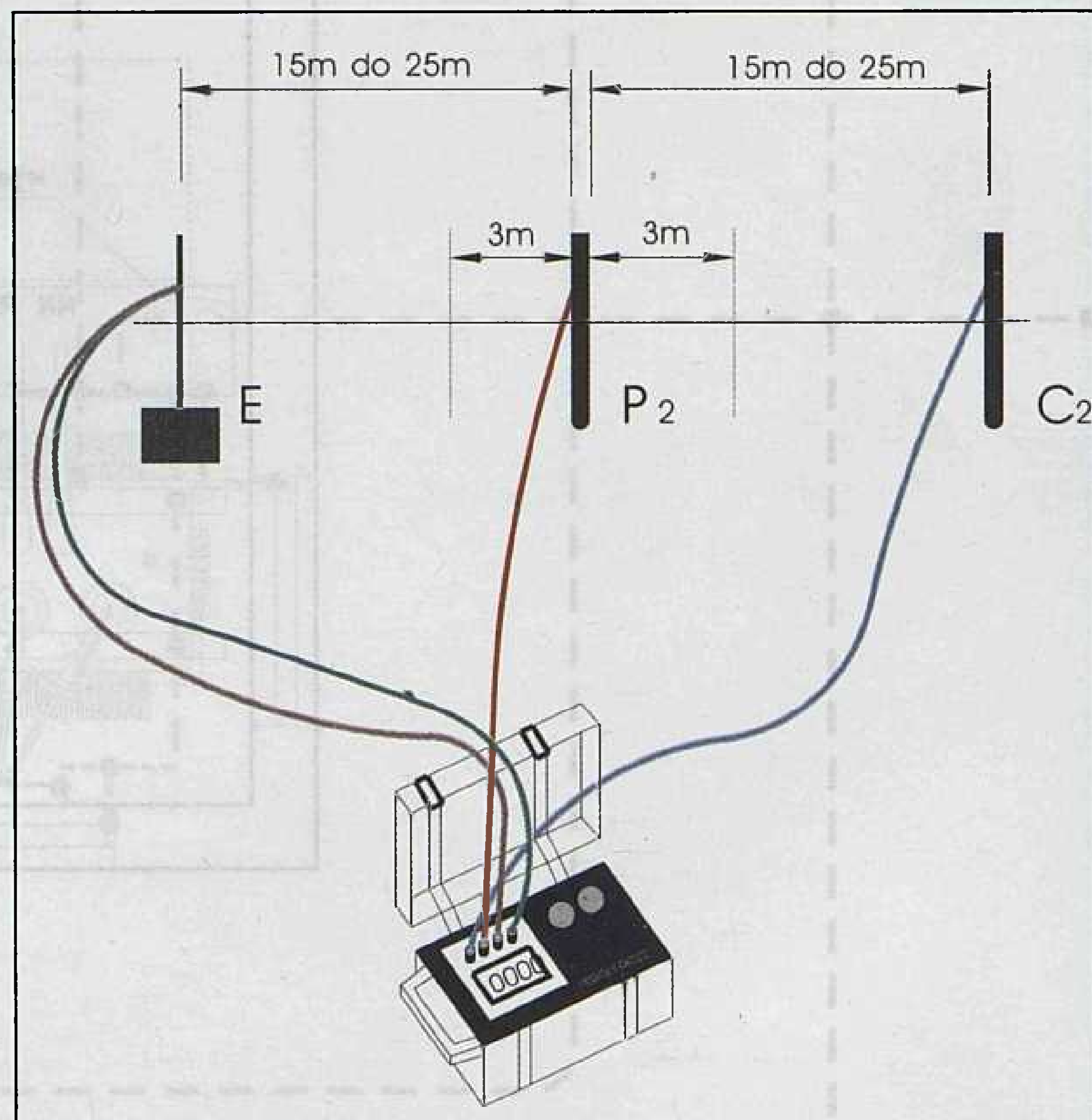
mjerenja nisu jednaki, ponavljaju se mjerenja s povećanim razmacima "x" i "y".

Vrijednost otpora R_A dobiva se dijeljenjem pada napona između uzemljenja R_A i mjerne elektrode T_2 , strujom koja protječe kroz uzemljivač i pomoćnu elektrodu T_1 . Kako je $I_{T_2} \approx 0$, zbog velikog unutarnjeg otpora voltmetra, možemo pisati:

$$R_A = \frac{U_{R_A-T_2}}{I}$$

Ukoliko nema nikakvih podataka o uzemljivaču mjerenje obavljamo tako da mjernu elektrodu i pomoćnu elektrodu postavimo u jednoj liniji na međusobnim razmacima od 25 m.

Mjerenje obavljamo mjeracem otpora uzemljenja tipa MEGGER DET2/2. Time koristimo osnovnu metodu za mjerenje otpora uzemljenja sustavom elektroda. Međutim, ona se može prakticirati jedino na malim, pojedinačnim uzemljivačima zbog ograničenosti veličine područja raspoloživog za izvršenje testa. Princip mjerenja prikazuje sljedeća slika.



Slika 5. Mjerenje otpora uzemljenja instrumentom MEGGER DET 2/2

Mjerenje je obavljeno na sljedeći način. Zabije se strujni test šiljak u zemlju otprilike 30 do 50 metara udaljeno od uzemljivača "E" kojega testiramo. Poveže se šiljak s instrumentom na stezaljku "C2" (ili "H").

Zatim se zabije naponski test šiljak u zemlju na pola puta između strujnog test šiljka i uzemljivača. Poveže se šiljak s instrumentom na stezaljku "P2" (ili "S").

Napomena: Poželjno je da su strujni šiljak, naponski šiljak i uzemljivač u liniji. Također, kada se počinje i odvija proces samog mjerenja, test šiljci se ne diraju, a žice se ne postavljaju blizu jedna drugoj zbog minimiziranja efekta međuinstrukcije.

Poveže se "C1" (ili "E") i "P1" (ili "ES") stezaljka instrumenta s uzemljivačem "E".

Pomakne se potencijalni šiljak 3 metra dalje od uzemljivača i napravi drugo mjerenje otpora uzemljenja. Potom se pomakne naponski šiljak bliže uzemljivaču (od početnog položaja) i napravi treće mjerenje otpora uzemljenja.

Ako se dobivena tri rezultata mjerenja slažu jedan s drugim, sa zahtjevanom točnošću, tada njihova srednja vrijednost može biti uzeta kao vrijednost otpora uzemljenja.

3. REZULTATI MJERENJA OTPORA UZEMLJENJA TS

Sređeni podaci proistekli iz mjerenja otpora rasprostiranja uzemljivača i njihovih komponenti TS 10(20)/0.4 kV prikazani su na tabl. 1.

Iz konačnih rezultata prethodne tablice slijedi grafikon prosječnih veličina otpora rasprostiranja sustava uzemljenja u cjelini (zduženi), te svih komponenata.

4. ANALIZA IZMJERENIH VRIJEDNOSTI

Naše mjerenje pokazuje sljedeće prosječne veličine otpore rasprostiranja:

- radnog uzemljivača – 0.3731 W
- zaštitnog uzemljivača – 3.3260 W
- doprinos putem VN kabela – 0.6286 W
- doprinos putem NN kabela – 0.1667 W.

Iz rezultata mjerenja i izračuna kao paralele, može se konstatirati sljedeće:

- a) Odstupanje računске vrijednosti zduženog uzemljenja od izmjerene vrijednosti, posljedica je međusobnog utjecaja, galvanski nerazdvojenih pojedinih uzemljivača te prijelaznih otpora na spojnim mjestima priključka instrumenta. Iznos apsolutnog odstupanja prelazi 0.05Ω na samo tri mjesta.

b) Izmjerena vrijednost zduženog otpora samo na jednom mjernom mjestu prelazi vrijednost od 0.266Ω , što pri najvećoj struji kvara od 300 A, ne bi stvorilo ukupni potencijal na sustavu uzemljenja veći od 80 V (uz zaštitno isključenje unutar 0.5 s). Povoljni faktor redukcije svakako smanjuje konkretnu struju kvara.

c) Otpor zaštitnog uzemljenja je u rasponu od $2 - 5 \Omega$, što je u propisanim okvirima. Manje vrijednosti ukazuju na mogućnost da se razdvajanjem elemenata uzemljivačkog sustava prije mjerenja nije postiglo dovoljno kvalitetno galvansko odvajanje zaštitnog od radnog uzemljenja, dok veće vrijednosti (KTS 39 i KTS 151) upućuju na vjerojatne loše spojeve na dovodu prema uzemljivaču.

d) Doprinos sustavu uzemljenja TS, od susjednih uzemljivača TS, preko VN kabela je veliki, osim u PTTS 109 zbog njenog specifičnog izdvojenog, radialnog položaja.

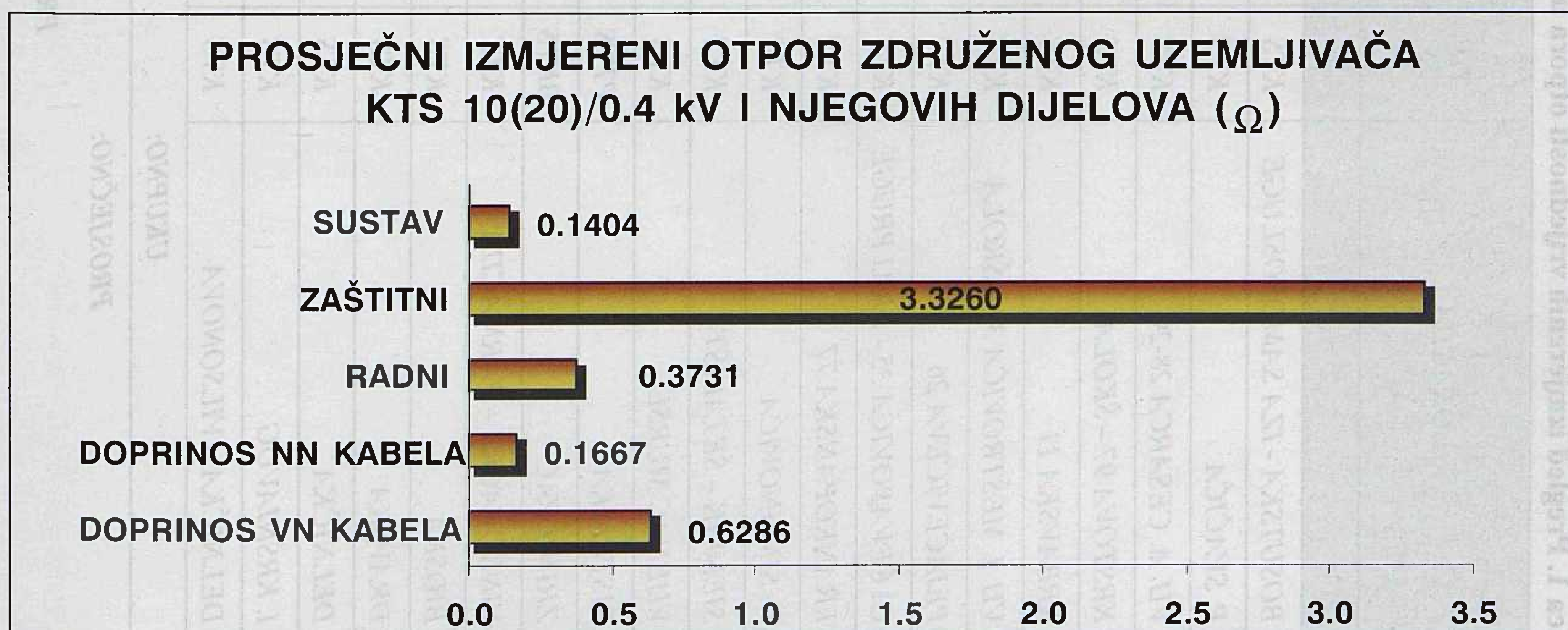
e) Doprinos sustavu uzemljenja TS, od uzemljenja NN mreže, preko NN izvoda je veći što je NN mreža razvijenija. Upečatljiv primjer je PTTS 109 kao izdvojeno elektroenergetsko postrojenje.

5. ZAKLJUČAK

ZALIHOST, DOSTATNOST, tla sa velikim spec. otporom (pijesak)

Očigledno je kako doprinos smanjenju ukupnog otpora uzemljenja gradske TS 10(20)/0.4 kV, preko niskonaponskih izvoda pokazuje najmanju vrijednost, pa je i njegov utjecaj najvažniji. To je potpuno jasno jer je grad doslovno premrežen NN kabelima raznih veličina, svrha i starosti te nul vodič u njima (ili plašt) povezuje sve uzemljivače u jednu kvazi ekvipotencijalnu plohu.

Po jednom prosječnom NN izvodu, a ima ih prosječno 7.15 po TS, otpor uzemljenja je 1.1919Ω , za razliku od prosječnog otpora uzemljenja susjednih TS preko



Grafikon 1. Prosječne veličine otpora rasprostiranja uzemljenja

Tablica 1. Pregled izmjerenih vrijednosti otpora uzemljenja TS 10(20)/0.4 kV

R. br.	LOKACIJA	TIP TS	TS broj	Tr. (kVA)	Ukupno snaga u TS (kVA)	Br. VN polja	Br. NN izvoda	IZMJERENI OTPOR (W)					Vremenski uvjeti kod mjerenja
								Doprinos VN kabela	Doprinos NN kabela	RADNI	ZAŠTITNI	SUSTAV	
1	2	3	4	5	6	7	8	15	16	17	18	19	20
1	BOSUTSKA - IZA SAMOPOSŁUGE	KTS	9	630	630	3	10	0.436	0.070	0.172	2.700	0.060	vrlo suho
2	P. SVAČIĆA	KTS	10	630	630	2	8	0.458	0.092	0.102	0.128	0.074	vrlo suho
3	VIJ. A. CESARCA 28-29	KTS	17	630	630	4	11	0.357	0.240	0.290	4.250	0.182	vlažno
4	KRSTOVA 97 - ŠKOLA	KTS	19	630	630	2	8	1.138	0.142	-	3.530	0.122	vrlo suho
5	KRBAVSKA 11	KTS	23	400	400	2	5	0.300	0.174	0.750	1.053	0.136	vrlo suho
6	VIJ. I. MEŠTROVIĆA 34 - ŠKOLA	KTS	29	630	630	3	8	0.294	0.088	-	4.730	0.074	vlažno
7	PEJAČEVIĆEVA 26	KTS	39	630	630	2	6	0.356	0.050	0.122	19.200	0.044	vrlo suho
8	G. ČEVAPOVIĆA 35 - KRAJ PRUGE	KTS	48	400	400	2	13	0.334	0.186	0.196	4.320	0.134	vrlo suho
9	FRANKOPANSKA 77	KTS	60	630	630	2	6	0.794	0.060	1.266	0.104	0.048	suho
10	D. ŠIMUNOVIĆA	KTS	62	400	400	2	6	0.726	0.182	0.212	3.830	0.146	suho
11	SJENJAK - ŠETALIŠTE	KTS	90	630	1260	3	10	0.364	0.222	0.292	0.300	0.216	vrlo suho
12	VIJENAC MURSE	KTS	96	630	630	1	8	0.986	0.152	0.234	2.360	0.128	vrlo suho
13	BISTRICKA	PTTS	109	160	160	1	2	1.802	0.502	0.520	3.590	0.496	vrlo suho
14	ZRINJEVAC	BKTS	138	630	630	2	6	0.656	0.074	-	1.434	0.068	vrlo suho
15	VINKOVAČKA - FARMACIJA	KTS	142	630	630	3	5	0.206	0.138	-	0.160	0.130	vrlo suho
16	BIĐSKA	KTS	150	630	630	2	9	1.292	0.088	-	0.106	0.086	vrlo suho
17	DRAVSKA	KTS	151	630	630	3	3	0.842	0.252	0.520	11.280	0.242	vrlo suho
18	DELNIČKA	KTS	156	400	400	3	7	0.426	0.182	-	0.290	0.118	vrlo suho
19	I. KRŠNJAVOG	KTS	168	630	630	3	6	0.364	0.152	-	0.494	0.136	suho
20	DELNIČKA - VILSONOVA	KTS	174	630	630	1	6	0.440	0.288	0.174	2.660	0.168	vrlo suho
UKUPNO:					11840								
PROSJEČNO:				561	592	2.30	7.15	0.6286	0.1667	0.3731	3.3260	0.1404	
PROSJEČNI OTPOR PO VN POLJU I NN IZVODU:								1.4458	1.1919				

plašta jednog VN vodnog polja (prosječno 2.3 vodnih polja po TS), koji je 1.4458Ω .

Ako bi kao paralelne računali, ti otpori uzemljenja, jedan VN i jedan NN kabel, te radni i zaštitni otpor TS, dali bi ukupan otpor od 0.2217Ω . To je ispod 0.266Ω , pri kojem otporu i pri najvećoj struji jednopolnog kvara od 300 A, ne bi stvorilo ukupni potencijal na sustavu uzemljenja veći od 80 V (uz zaštitno isključenje unutar 0.5 s). Povoljni faktor redukcije svakako smanjuje konkretnu struju kvara. Stoga bismo mogli ustvrditi kako bi koristeći samo ta dva "uzemljivača", uz osnovni (radni i zaštitni), zadovoljili većinu zahtjeva na uzemljenje gradske TS 10(20)/0.4 kV. Naravno da to vrijedi samo u razvijenoj NN mreži s kvalitetnim uzemljenjem.

Očito je da u postojećem načinu određivanja uzemljivača gradske TS postoji zalihost te bi se moglo smanjiti troškove izvedbe klasičnog osnovnog uzemljivača. Kod planiranja i pripreme projektne zadaće potrebno je kvalitetnije odrediti ulazne elemente i odlučiti o izvedbi svakog uzemljivača posebno. Potrebno je, naravno voditi računa i o specifičnom otporu tla (pijesak), jer kad je on veći ta zalihost i dostatnost uzemljivača se bitno smanjuje.

LITERATURA

- [1] Hrvatske norme; HRN N.B2.762.
- [2] Upute mjernog uređaja MEGGER DET2/2
- [3] S. MEGLA: "Zbirka propisa iz područja elektrotehnike", Zagreb 1998.

SYSTEM AND GROUNDING COMPONENTS' RESISTANCE OF URBAN 10(20)/0.4 kV TS

This work presents resistance measuring of grounding spreading from the 10(20)/0.4 kV TS urban grounding system and analyses the measurement results. The aim is to show the shares of certain grounding components among themselves and related to the grounding system. Measurements were carried out on a real 10(20)/0.4 kV network TS of the town of Osijek.

ERDUNGSWIEDERSTAND DER BAUTEILE EINES 10(20)/0,4 kV STÄDTISCHEN UMSPANNWERKES UND DER GESAMTHEIT DER ANLAGE

Das Artikel stellt die Messung der Fortpflanzung des Erdungswiderstandes aller Erder eines städtischen Umspannwerkes 10(20)/0,4 kV dar, und gibt die Beurteilung der Ergebnisse dieser Messungen an. Der Zweck war die Anteile der Erdungswiderstände einzelner Bauteile des Umspannwerkes untereinander und im Bezug zum Gesamtwert zu vergleichen. Die Messungen sind im wirklichen Netz der 10(20)/0,4 kV-Umspannwerke der Stadt Osijek durchgeführt worden.

Naslov pisca:

Pavle Filko, dipl. ing.
HEP DP "Elektroslavonija" Osijek
Šet. kardinala F. Šepera 1a,
31000 Osijek, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
 2001-03-05.