

**MERENJE AMBIJENTNIH USLOVA U ZEMLJIŠTU NA TRASI 110 kV
KABLOVSKOG PRIKLJUČNOG VODA ZA TS 110/10 kV "OBILIĆ"**

Milutin Sredojević*, Đorđe Popović*, Mr. Aleksandra Popovac-Damljanović**
*Elektrotehnički Institut "Nikola Tesla", Beograd, **EPS JP"Elektrodistribucija-
Beograd", Beograd

Sadržaj: U radu su detaljno opisane metode istraživanja i oprema za istraživanje karakteristika zemljišta na trasi visokonaponskih kablovskih vodova. Koristeći izložene metode izvršena su istraživanja specifičnog toplotnog otpora, temperature i vlažnosti zemljišta na trasi 110 kV priključnog voda za TS 110/10 kV "Obilić". Prikazani su rezultati istraživanja i izvršena je njihova analiza. U analizi su korišćeni rezultati istraživanja toplotno kritičnih mesta na trasi u eksploataciji kablovskih vodova 110 kV na području Beograda. Pri tom je uvažen zahtev iz IEC Standarda da se u eksploataciji stalno mora obavljati usklađivanje intenziteta dozvoljenog strujnog opterećenja kablova i karakteristika zemljišta na kablovskoj trasi. Pokazano je da je, zbog povećanja dozvoljenog strujnog opterećenja novih kablovskih vodova u eksploataciji, opravdano da se u fazi projektovanja utvrde očekivana toplotno kritična mesta i delovi kablovske trase, na kojima će se u fazi polaganja kablova upotrebiti posebne mešavine za izradu kablovske posteljice. Praksa je pokazala da je to najekonomičniji način na koji se obavlja trajno usklađivanje karakteristika zemljišta na novoj kablovskoj trasi i intenziteta dozvoljenog strujnog opterećenja.

Ključne reči: kabl/ struja/ temperatura/ specifični toplotni otpor zemljišta/ trasa/ isušivanje zemljišt/ pesak/ posebne mešavine.

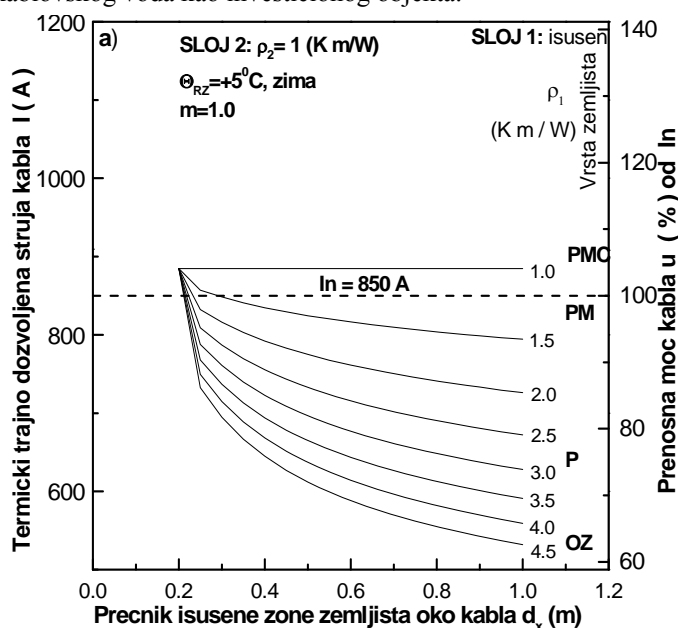
1 UVOD

Karakteristike zemljišta kao ambijenta na kablovskoj trasi (specifični toplotni otpor zemljišta: ρ_z (K·m/W), temperatura zemljišta: θ_z (°C) i vlažnost zemljišta: w_z (%), posmatrane u prostoru i vremenu u sloju na dubini polaganja energetskih kablova predstavljaju važne tehničke podatke na osnovu kojih se u eksploataciji definiše prenosna energetska moć kablovskog voda [1,5]. One direktno utiču na njegovu pouzdanost u eksploataciji, a sa tim i na stepen iskorišćenja posmatranog kablovskog voda kao investicionog objekta. Posebno je važno da se u fazi projektovanja, prilikom izbora pravca novoprojektovane kablovske trase utvrde mesta i delovi trase na kojima se u eksploataciji očekuje pojava isušivanja zemljišta oko kablovskih vodova, odnosno da se utvrdi da li se na svim delovima trase može očekivati obnavljanje vode u sloju zemljišta na dubini polaganja kablovskih vodova. Višegodišnja merenja zagrevanja na trasi u eksploataciji kablovskih vodova 110 kV na području Beograda pokazala su da na kablovskoj trasi postoje mesta sa isušenim slojevima peska f.g.a 0-4 i glinovitog zemljišta oko kablova 110 kV [4]. Na ovim toplotno kritičnim mestima merenjem i sračunavanjem je utvrđeno da u eksploataciji postoji dvostruko veći porast radne temperature plašta kablova 110 kV u odnosu na mesta i delove trase sa normalnim karakteristikama zemljišta, kao i u odnosu na mesta i delove trase na kojima su za ispunu kablovskog rova upotrebljene posebne mešavine f.g.a. 0-16, bez i sa dodatkom

2% cementa. Toplotno kritična mesta na trasi kablovskih vodova 110 kV na području Beograda, su po pravilu mesta i delovi na kojima je kablovska posteljica izrađena od peska f.g.a. 0-4 (ili 0-2) ili od glinovitog zemljišta i na kojima su:

- nepravilno obavljena ukrštanja i druga približavanja sa magistralnim toplovodima i grupno položenim energetskim kablovima,
- nepovoljni topografski i hidrološki uslovi lokalnog zemljišta i
- nepovoljan pedološki, odnosno mineralno-petrografski i granulometrijski sastav lokalnog zemljišta.

Zbog toga je prema IEC:287/1982, Amendment: 2/1991 [1,2], potrebno da se kod projektovanja uzme u obzir da će se u eksploataciji na pojedinim mestima i delovima nove kablovske trase obrazovati isušena zona zemljišta oko kablovskih vodova i da se zbog toga mora stalno obavljati usklađivanje intenziteta dozvoljenog strujnog opterećenja sa veličinom isušene zone i vrstom zemljišta. Primer usklađivanja intenziteta trajno dozvoljenog kontinualnog strujnog opterećenja sa različitim prečnicima isušene zone i vrstom zemljišta za 110 kV kablovski priključni vod za TS 110/10kV "Obilić" prikazan je na sl.1. Prema sl.1 usklađivanje intenziteta trajno dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda može se obaviti na dva načina. Prvi način je da se na očekivanim toplotno kritičnim mestima za ispunu kablovskog rova upotrebe posebne mešavine f.g.a. 0-16, bez i sa dodatkom 2% cementa. Na ovaj način se direktno poboljšava kvalitet polaganja, a sa tim se znatno povećava stepen iskorišćenja posmatranog kablovskog voda kao investicionog objekta.



Sl. 1. Uticaj prečnika isušene zone i vrste zemljišta na intenzitet trajno dozvoljenog kontinualnog ($m=1.0$) strujnog opterećenja 110 kV kablovskog priključnog voda za TS 110/10 kV "Obilić": a)-zimski period, $\theta_{RZ} = +5^\circ\text{C}$.

LEGENDA:

Vrsta zemljišta: OZ - glinovito zemljište, P - pesak f.g.a. 0-4, PM; PMC - posebne mešavine, bez i sa dodatkom 2% cementa.

Konfiguracija polaganja 110 kV kablova: trougaoni snop, $h=1.3$ m - dubina polaganja.

Drugi način je da se u eksploataciji odredi najzagrejanije mesto, odnosno toplotno kritično mesto na trasi i da se na osnovu utvrđivanja vrste i veličine isušene zone zemljišta obavi smanjenje intenziteta dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda. Prema tome, za oba navedena načina osnovni uslov za obavljanje kvalitetnog usklađivanja intenziteta dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda 110 kV i karakteristika zemljišta je da se odredi najzagrejanije, odnosno toplotno kritično mesto na trasi u eksploataciji. Utvrđivanje toplotno kritičnih mesta na trasi u eksploataciji može se obaviti samo na osnovu rezultata višegodišnjih istraživanja karakteristika zemljišta u fazi:

- projektovanja,
- polaganja i
- eksploatacije kablovskog voda.

Praksa je pokazala da je ekonomski opravdano da se usklađivanje (homogenizacija) karakteristika zemljišta na trasi obavi u fazi polaganja kablovskog voda upotrebom posebnih mešavina f.g.a. 0-16, bez i sa dodatkom 2% cementa

2 OBIM I VREME MERENJA

Institut "Nikola Tesla" je na projektovanoj trasi 110 kV kablovskog priključnog voda za TS 110/10 kV "Obilić" u vremenskom periodu oktobar-novembar 1998. god., obavio sledeća merenja:

- merenje specifičnog toplotnog otpora zemljišta, u sloju do dubine 1.2 m;
- merenje temperature zemljišta u sloju na dubini 1.0 m i
- merenje vlažnosti zemljišta u sloju na dubini 1.0 m.

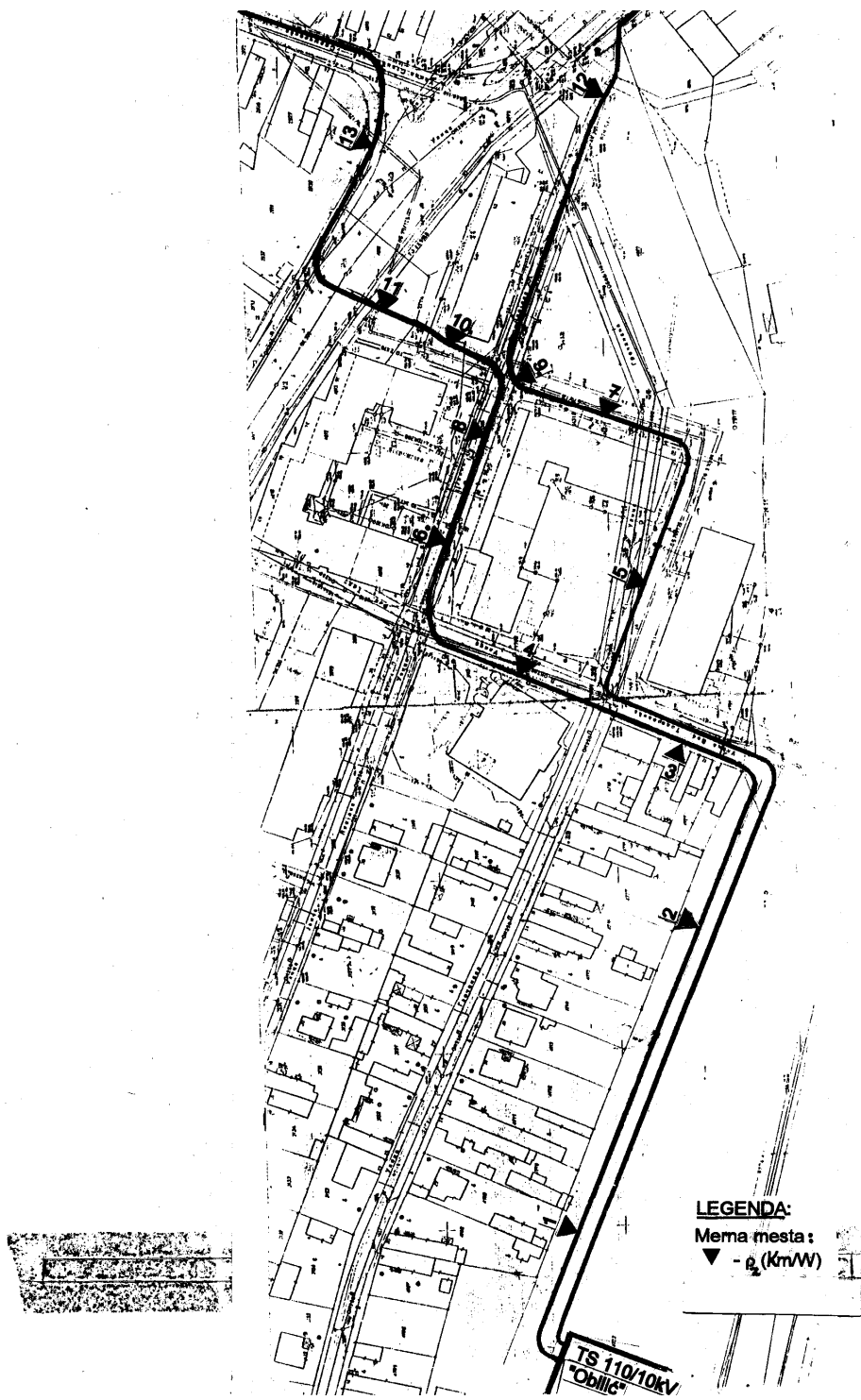
Merenja su obavljena na 13 (trinaest) mernih mesta. Osnovni cilj obavljanja merenja je da se utvrdi stepen homogenosti karakteristika zemljišta na projektovanoj kablovskoj trasi pri hidrološkim stanju u zemljištu, koje je nastalo pod uticajem atmosferskih padavina u višemesečnom periodu, koji je prethodio periodu obavljanja merenja, odnosno da se utvrde toplotno kritična mesta na projektovanoj kablovskoj trasi, koja se očekuju da će se pojaviti u eksploataciji.

3 MERNA MESTA

Merna mesta za merenje specifičnog toplotnog otpora, temperature i vlažnosti zemljišta su raspoređena ravnomerno (na svakih 50 m) na projektovanoj trasi pri čemu se vodilo računa o konfiguraciji terena, promenama pravca trase i o susednim podzemnim energetskim instalacijama (toplovodi i energetski kablovi). Položaj mernih mesta je označen sa crnim trouglom pored koga arapski broj označava broj mernog mesta, sl.2.

4 PRIMENJENE METODE I MERNA OPREMA

Merenje specifičnog toplotnog otpora zemljišta na mernim mestima na projektovanoj trasi obavljeno je pomoću ispitnog uređaja za terensko merenje, koji je razvijen i izrađen u Elektrotehničkom Institutu "Nikola Tesla" u Beogradu. Ispitni uređaj u osnovi primenjuje metodu iglaste sonde u prelaznom stanju zagrevanja. Uređaj se sastoji od merne sonde dužine 1.45 m prečnika \varnothing 0.01 m, napojnog dela (akumulator sa strujnim regulatorom), mernog dela (otpornih davača za merenje temperature i



Sl. 2. Raspored mernih mesta na ispitivanoj kablovskej trasi.

merača otpornosti, odnosno temperature) i pribora za bušenje zemljišta (alata i burgija raznih dužina do 1.5 m). Pre merenja se vrši bušenje zemljišta pomoću pribora za bušenje a zatim se u pripremljeni otvor obavlja utiskivanje merne sonde u sloj zemljišta (do predviđene dubine polaganja energetskih kablova) čiji se specifični toplotni otpor meri. Zagrevanje zemljišta oko sonde se vrši linijskim toplotnim izvorom (grejnom žicom), koji se nalazi u središtu sonde i snima se vremenski dijagram temperature. Na osnovu njega se određuje porast temperature sonde u prelaznom stanju zagrevanja zemljišta, čija vrednost direktno zavisi od specifičnog toplotnog otpora sloja zemljišta u koji je sonda utisnuta.

Merenje vlažnosti zemljišta na mernim mestima na projektovanoj trasi obavljeno je pomoću klasične metode na uzorcima zemljišta, koji su uzeti sa dubine 1 m pomoću posebnog svrdla prečnika \varnothing 0.05 m. Vlažnost uzorka zemljišta je izražena u procentima, kao sadržaj vode u odnosu na zapreminsku masu uzorka u suvom stanju.

Merenje temperature zemljišta na mernim mestima na projektovanoj trasi, obavljeno je u sloju na dubini 1 m (u otvoru iz koga je uzet uzorak zemljišta za merenje vlažnosti) pomoću digitalnog termometra i sonde, koja je izrađena od termoelementa tipa T (Cu-CuNi).

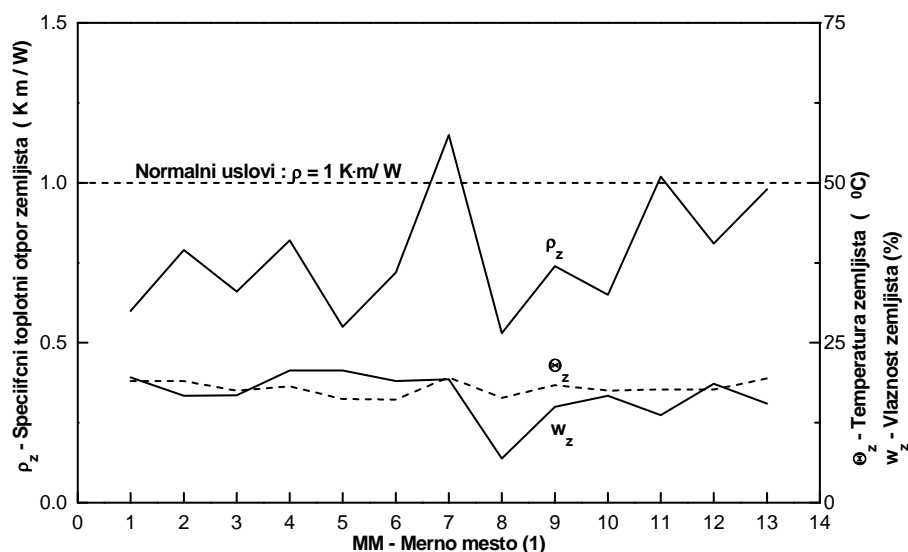
5 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati istraživanja karakteristika zemljišta na mernim mestima na ispitivanoj trasi 110 kV kablovskog priključnog voda za TS 110/10 kV "Obilić" prikazani su u tab.1 i sl.3.

Rezultati merenja sume mesečnih količina atmosf. padavina za 1998.god.dati su u tab.2.

Tabela 1. Izmerene vrednosti specifičnog toplotnog otpora, temperature i vlažnosti zemljišta na trasi 110 kV kablovskog priključnog voda za TS 110/10 kV "Obilić" (oktobar - novembar, 1998. god.).

Merno mesto (prema sl.2) br.	Specifični toplotni otpor zemljišta ρ_z (K·m/W)	Temperatura zemljišta θ_z (°C)	Vlažnost zemljišta w_z (%)
1	0.60	19.0	19.6
2	0.79	19.0	16.7
3	0.66	17.5	16.8
4	0.82	18.2	20.7
5	0.55	16.2	20.7
6	0.72	16.1	19.0
7	1.15	19.6	19.3
8	0.53	16.4	6.9
9	0.74	18.4	15.0
10	0.65	17.5	16.7
11	1.02	17.7	13.7
12	0.81	17.7	18.6
13	0.98	19.4	15.5



Sl. 3. Izmerene vrednosti specifičnog toplotnog otpora ρ_z (K·m/W), temperature θ_z (°C) i vlažnosti w_z (%) zemljišta na trasi 110 kV kablovskog priključnog voda za TS 110/10 kV "Obilić", (okt.-nov. 1998.god.).

Tabela 2. Izmerene vrednosti mesečne količine atmosferskih padavina u [mm], za 1998.godinu.

Mes.	JAN	FE	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AV	SEP	OKT	NOV	DEC
Suma	70.6	2.3	19.3	30.7	55.2	63.5	31.5	47.4	92.6	89.6	52.2	31.0

6 ANALIZA ISTRAŽIVANJA

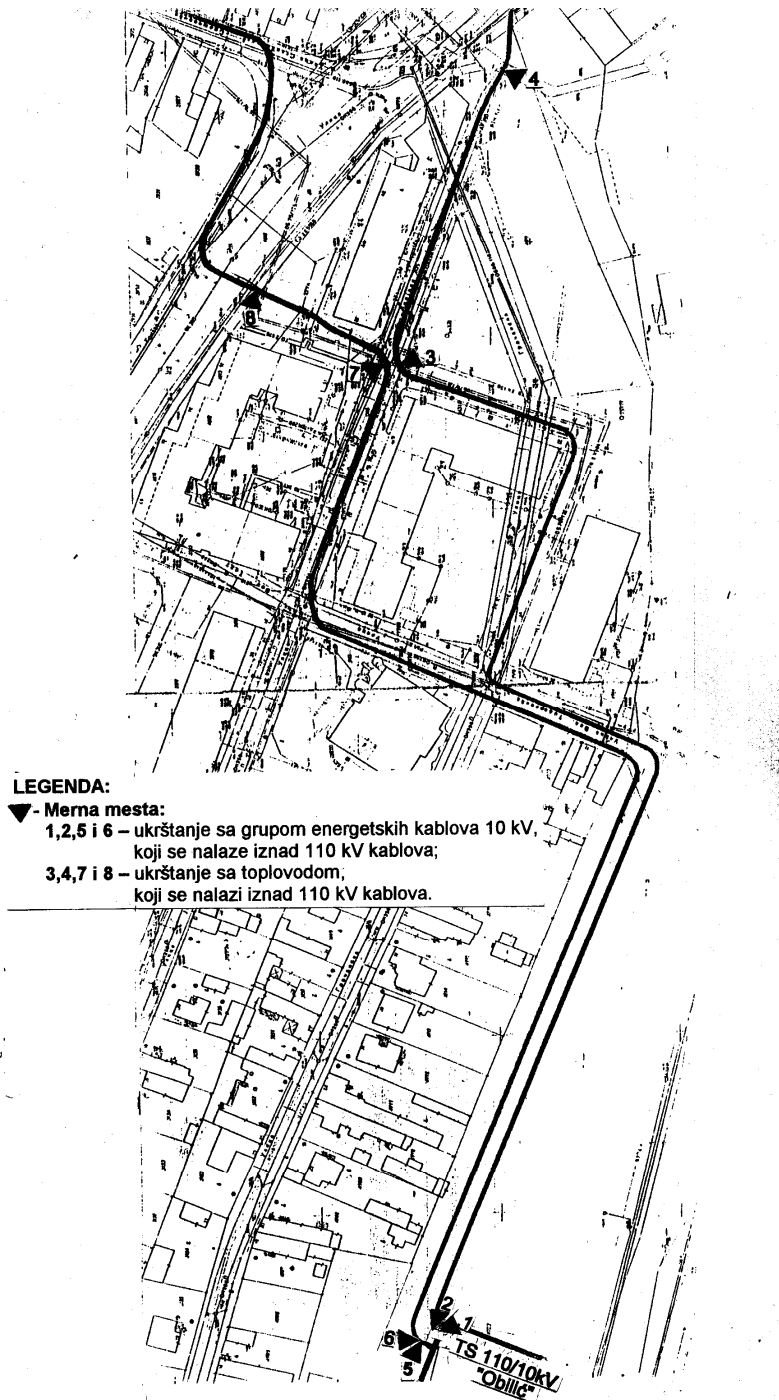
Vrednost specifičnog toplotnog otpora zemljišta zavisi od [5]:

- vrste, odnosno porekla zemljišta (glina, pesak, mešavine, frakcija granulisanih agregata; posebno kod peska i mešavina važan je mineraloško-petrografski sastav);
- granulometrijskog, odnosno pedološkog sastava;
- vlažnosti, odnosno sadržaja vode;
- zapreminske mase u isušenom stanju;
- stepena zbijenosti;
- oblika i veličine zrna;
- sadržaja: kvarca, ugljenika, oksida metala i drugih dodataka;
- temperature i dr.

Navedeni uticaji direktno i posredno deluju na vrednost specifičnog toplotnog otpora zemljišta, koja se znatno menja u prostoru i vremenu na kablovskoj trasi u eksploataciji kablovskog voda 110 kV na području Beograda. Primenjena terenska metoda iglaste sonde daje vrednosti specifičnog toplotnog otpora zemljišta obuhvatajući lokalno sve navedene uticaje na jednom mernom mestu ispitivane trase. Međutim bez dodatnih ispitivanja ne može se precizno izvršiti razdvajanje njihovog direktnog i međusobno posrednog uticaja.

U svakodnevnoj praksi normalne vrednosti istraživanih karakteristika zemljišta su:

- specifični toplotni otpor zemljišta: $\rho_z=1$ K·m/W i
- temperatura zemljišta: $\theta_{RZ}=+5^\circ\text{C}$, za zimski period i $\theta_{RZ}=+20^\circ\text{C}$, za letnji period.



Sl. 4. Raspored toplotno kritičnih mesta na ispitivanoj kablovskoj trasi, koja se očekuju u eksploataciji.

Prema rezultatima merenja (tab.1, sl.3) može se zaključiti da je na ispitivanoj trasi u periodu obavljanja merenja postojao visok stepen homogenosti karakteristika zemljišta; njihove vrednosti su bile znatno povoljnije od normalnih. Vrednost mesečne količine atmosferskih padavina za septembar 1998. god. i vrednosti vlažnosti uzoraka zemljišta na mernim mestima ukazuju da se u zemljištu na ispitivanoj trasi u eksploataciji može očekivati obnavljanje vode u sloju zemljišta na dubini polaganja 110 kV kablova u periodu neposredno posle obimnih atmosferskih padavina. Međutim, u eksploataciji 110 kV kablovskog priključnog voda za TS "Obilić", zbog uticaja toplote na migraciju vlage u zemljištu, potrebno je u višemesečnim periodima bez obnavljanja vlage očekivati pojavu isušivanja zemljišta oko 110 kV kablova na ispitivanoj trasi, odnosno potrebno je očekivati pojavljivanje toplotno kritičnih mesta posebno na mestima ukrštanja sa toplovodima i grupno položenim kablovima [4]. To su 4 (četiri) mesta ukrštanja sa grupno položenim 10 kV kablovima i 4 (četiri) mesta ukrštanja sa toplovodima. Položaj očekivanih toplotno kritičnih mesta na ispitivanoj trasi dat je na sl.4. Ekonomska opravdanost usklađivanja karakteristika zemljišta na ispitivanoj trasi upotrebom posebnih mešavina za izradu kablovske posteljice ogleđa se u znatnom povećanju intenziteta dozvoljenog strujnog opterećenja, sl.1.

7 ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata i analize merenja karakteristika zemljišta na trasi 110 kV kablovskog priključnog voda za TS 110/10 kV "Obilić" mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. U periodu obavljanja merenja postojao je visok stepen homogenosti specifičnog toplotnog otpora, temperature i vlažnosti zemljišta na ispitivanoj trasi; njihove izmerene vrednosti su bile znatno povoljnije od normalnih.
2. U eksploataciji se može očekivati obilno i ravnomerno obnavljanje vode u zemljištu na ispitivanoj trasi, posebno posle mesečnih perioda sa maksimalnim atmosferskim padavinama.
3. Toplotno kritična mesta na ispitivanoj trasi, koja se očekuju da će se pojaviti u eksploataciji, su 4 mesta ukrštanja sa novim grupno položenim 10 kV kablovskim vodovima i 4 mesta ukrštanja sa postojećim toplovodima.
4. Za obezbeđenje potrebnih uslova za pouzdano određivanje dozvoljenog strujnog opterećenja u eksploataciji potrebno je da se na toplotno kritičnim mestima na trasi:
 - izradi kablovska posteljica od posebnih mešavina f.g.a. 0-16 i
 - postave merne termo-sonde za merenje zagrevanja.

LITERATURA

- [1] IEC Standard, Publication 287, Second edition 1982, Calculation of continuous current rating of cables (100% load factor).
- [2] IEC Standard, Publication 287/1982, Amendment 2/1991, Calculation of continuous current rating of cables (100% load factor).
- [3] Izveštaj broj 359901: "Merenje ambijentnih uslova u zemljištu na trasi 110 kV kablovskog priključka za TS 110/10kV "Obilić," Elektrotehnički Institut "Nikola Tesla" Beograd 1999.god.
- [4] Elaborat 359703:"Toplotno kritična mesta kablovskih vodova 110 kV, na području Beograda", Elektrotehnički Institut "Nikola Tesla", Beograd 1997.god.

- [5] Studija 359705: "Uticaj toplote na prenosnu energetska moć kablovskih vodova 110 kV, na području Beograda", Elektrotehnički Institut "Nikola Tesla", Beograd 1998.god.

Abstract: In this paper the methods of investigations and the equipment used for investigations of soil characteristics on the route of high-voltage cable lines are described in details. Using described methods investigations of the soil thermal resistivity, temperature and humidity on the route of the 110 kV cable connected to the TS 110/10 kV "Obilic" are carried out. The results of investigations are presented and analyzed. In performing the analysis the results of investigations of thermally critical spots on the routes of 110 kV cable lines in Belgrade area are used and the requirement of IEC standard for continual accommodation of permissible current ratings to the soil characteristics of the cable route is applied as well. It is shown that in the course of projecting, because of increased permissible current rating of the new cable lines in exploitation, justified is to determine expected thermally critical spots and parts of the cable route where during cables laying down, special mixtures will be applied in making cable bedding. Practice has shown that this is most economic way to achieve permanent coordination of the soil characteristics of the new cable route and the permissible current rating.

INVESTIGATION OF THE SOIL CHARACTERISTICS ON THE ROUTE OF THE HIGH-VOLTAGE CABLE LINES

Milutin Sredojević, Đorđe Popović, Aleksandra Popovac-Damljanović

