

# MERENJE I OBRADA INTENZITETA RADIO-TALASA U SREDNJE-TALASNOM PODRUČJU

Marija Đorđević, Milan Ponjavić, Nenad Smiljanic

**Sadržaj** — Prostiranje radio-talasa zavisi uglavnom od električnih parametara prostora na trasi duž koje se ispituje intenzitet zaračenja. Na osnovu merenja intenziteta elektromagnetskog polja srednje-talasnih radio stanica određene su električne karakteristike kao sto je specifična električna provodnost (daljem tekstu provodnost- $\sigma$ ) duž karakterističnih tras na severnom delu Srbije. Za određivanje provodnosti su primjenjeni programi koji su adaptirani u Geomagnetskom zavodu a na osnovu preporuka CCIR-a. Za određivanje provodnosti korišćena su merenja intenziteta elektromagnetskog polja radio stanica u ispitivanoj oblasti. Rezultati merenja duž trasa korišćeni u radu sastoje se iz dve merne kampanje i to iz perioda 1961. godine i 1991. godine. Analiza rezultata iz ove dve kampanje ukazuje da se rezultati merenja iz 1961. godine mogu koristiti gotovo ravноправno sa novijim merenjima u svrhu određivanja električnih karakteristika prostora prostiranja radio-talasa. Na osnovu ovih rezultata pokazano je da fond merenja od 1951. do 1961. godine upotrebljiv za određivanje provodnosti.

**Ključne reči** — Elektromagnetsko polje, merenje, radiotalasi.

## I. UVOD

Izučavanje uslova prostiranja radio-talasa ima dugu tradiciju kako u svetu tako i u našoj državi. U bivšoj Jugoslaviji su ova izučavanja započela u Radio Institutu "Nikola Tesla" kasnije nastavljena u Institutu "Mihailo Pupin" da bi se početkom 70-tih godina prošlog veka nastavila u Geomagnetskom Institutu (sada Geomagnetski Zavod). U Geomagnetskom Zavodu se nalazi obimna dokumentacija merenja i obrađenih rezultata od 1951. godine do danas. U toku ovog perioda bilo je nekoliko ekipa u pomenutim institucijama koje su na različite načine obavljale terenska merenja intenziteta elektromagnetskog polja srednje-talasnih radio predajnika kao i odgovarajuća merenja u karatkotalasnom opsegu. U okviru rada Geomagnetskog Zavoda u toku je sistematizacija i formiranje baze podataka ovih ispitivanja. Analizirajući dostupne podatke u štampanoj i digitalnoj formi nametnula se ideja izrade projekta obrade i uporedne analize celokupnog fonda podataka merenja. U ovom radu su prikazani rezultati preliminarne obrade na karakterističnim trasama u severnom delu Srbije. Obrađeni su rezultati merenja intenziteta elektromagnetskog polja iz 1991. godine, mereni meračem polja Rhode&Schwarz tip ESH2 i rezultati iz 1961. godine mereni sa meračem polja Philips tip 9M 4010.

M. Đorđević, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija.

M. Ponjavić, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija; (e-mail: Milan@el.etf.bg.ac.rs).

N. Smiljanic, Geomagnetski zavod, 11306 Grocka, Srbija; (e-mail: smiljanic@beotel.net).

## II. METODA MERENJA ELEKTROMAGNETSKOG POLJA

Merenja u obe terenske kampanje su izvedena u smislu merenja koja su neophodna za metodu atenuacije, opisane u [1]), talasa duž trasa merenja. Merena je vertikalna komponenta električnog polja  $E_v$  (u daljem tekstu  $E$ ) u dB ili mV/m. Metoda slabljenja (atenuacije) podrazumeva da je predajnik vertikalni električni dipol pa shodno tome je dominantna vertikalna komponenta električnog polja ili vertikalna polarizacija elektromagnetskog polja. Vertikalna polarizacija je dominantna u MF frekventnom području. Takođe su, sredinom osamdesetih godina, rađena i eksperimentalna merenja nagiba talasa koja nisu ušla u rutinsku praksu zbog tehničkih nedostataka.

U terenskoj kampanji 1991. godine su merenja izvedena i u bliskoj okolini predajnika tako da su ova merenja u potpunosti ispunjavala uslove obrade prema metodi koju su definisali Gregorač i Budin [2] u programu koji je primjenjen za obradu podataka. Merenja u terenskoj kampanji 1961. godine je izveo Institut "Mihailo Pupin" a pod rukovodstvom Ing. M. Maširevića. Rezultati merenja su dati u [3] a ovde su prikazani samo rezultati za jednu trasu od Beograda do Sente.

Uprošćeni model prostiranja elektromagnetskog talasa prema [4], se može izraziti kao odnos stvarne prijemne snage u konkretnom slučaju prostiranja i odgovarajuće snage na prijemu u slučaju slobodnog prostora, na određenom rastojanju od predajnika. Ovo se može izraziti kao:

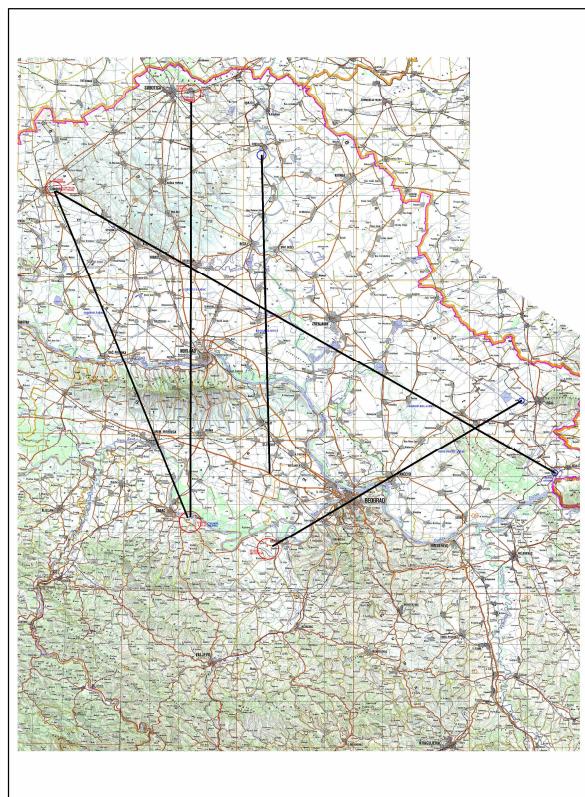
$$F = 10 \log \left( \frac{P_r}{P_{fs}} \right) \quad [\text{dB}]$$

Ukupno slabljenje signala je:

$$A_{tot} = A_{fs} + F$$

Gde je  $A_{fs}$  [dB] -slabljenje slobodnog prostora  
a  $F$  [dB] - faktor prostiranja

Ovakvo stanovište uprošćava analizu slabljenja prouzrokovang terenom, jer se ovaj efekat u potpunosti izražava faktorom  $F$  i na taj način je odvojen od slabljenja u slobodnom prostoru (naprimjer atmosfera). Stoga se dodatno slabljenje u odnosu na slabljenje u slobodnom prostoru odvojeno sračunava i nakanadno dodaje slabljenju u slobodnom prostoru, takođe pojedinih



Sl. 1. Pozicije radio predajnika i trasa merenja

faktora prostiranja kao što su naprimer atmosfera ili refleksija talasa.

Programi za obradu i interpretaciju rezultata korišćeni u ovom radu su proizašli iz preporuka CCIR-a i podrazumevaju posebno tretiranje rezultata merenja u bliskoj zoni predajnika gde dominira snaga zračenja jednog tipa i u udaljenoj zoni gde dominira snaga zračenja drugog tipa. Drugim rečima, uticaj faktora  $F$  u udaljenoj zoni dominira nad faktorom prostiranja u slobodnom prostoru.

### III. OBRADA I INTERPRETACIJA REZULTATA

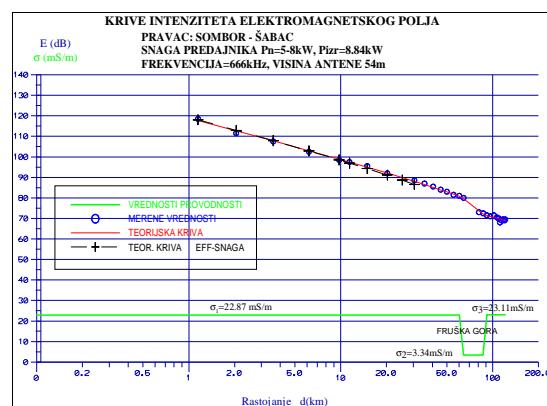
Primer rezultata merenja je dat u Tabeli 1, gde su prikazani rezultati merenja na trasi Beograd-Senta. Pomenuti izveštaj [3] jedan od mnogobrojnih tehničkih izveštaja merenja elektromagnetskog polja na teritoriji bivše SFRJ obavljenih od 1951. godine do 1961. godine i nalaze se u fondu Geomagnetskog zavoda. Na osnovu ovih rezultata u nekoliko navrata su formirane baze podataka i na osnovu njih su rađene procene električne provodnosti terena a rezultati prikazani u [5]. Rezultati merenja su arhivirani u obliku datoteka pogodnih za obradu sa raspoloživim programima. U Tabeli 1 pored mernih podataka su dati i rezultati obrade.

Za svaku tačku merenja su određene koordinate u državnom sistemu kao i radikalno udaljenje od predajnika. Obradene trase merenja su prikazane na slici 1. Obrada u smislu određivanja efektivne snage predajnika je obavljana sa programom EFSNAGA koji je varijanta programa iz [2] a prilagođena u Geomagnetskom zavodu. Ovaj program

određuje parametre kao što su efektivna ili izračena snaga  $P_{izr}$  i provodnost u okolini preadajnika na osnovu merenja u bliskoj zoni predajnika do 10 km. Primer izračunavanja efektivne snage predajnika je dat na slici 2 gde se jasno uočava da je teorijska kriva prostiranja gotovo istovetna sa teorijskom krivom dobijenom iz programa za obradu i interpretaciju WIRAMIL. Program WIRAMIL je adaptiran iz [2] i omogućuje procenu oblasti sa različitim vrednostima provodnosti duž trase merenja elektromagnetskog polja. Vrednosti provodnosti ovako dobijene su u stvari takozvane efektivne provodnosti ili ekvivalentne provodnosti terena duž trase. Lokalna ili stvarna provodnost na tačci merenja se može razlikovati od pomenute efektivne provodnosti. Ustvari efektivna provodnost sadrži i komponentu slabljenja talasa koja može nastati i zbog topografskih prepreka ili prepreka od veštačkih objekata kao što su gradska naselja. Deo slabljenja takođe može biti prouzrokovano različitim meteorološkim uslovima u niskoj atmosferi.

Tabela 1: Rezultati merenja i obrade elektromagnetskog polja za radio stanicu Beograd, pravac Beograd-Senta.

RAS.	INTENZ.	EM		POLJA
	MER.	TEOR.	MER.	TEOR.
u Km	mV/m	mV/m	dB	dB
26	101.63	105.59	100.1	100.5
33	81.3	79.31	98.2	98
40	98.58	61.74	99.9	95.8
48.4	47.86	44.12	93.6	92.9
50	50.81	41.54	94.1	92.4
54	45.73	35.89	93.2	91.1
56	35.57	33.44	91	90.5
67	21.34	22.94	86.6	87.2
67	22.15	22.94	86.9	87.2
61.6	23	27.62	87.2	88.8
73	18.92	17.84	85.5	85
83.5	15.55	14.78	83.8	83.4
83.5	17.58	14.78	84.9	83.4
100	12.16	11.54	81.7	81.2
108	13.18	10.38	82.4	80.3
108	6.8	10.38	76.7	80.3
118	9.64	9.13	79.7	79.2

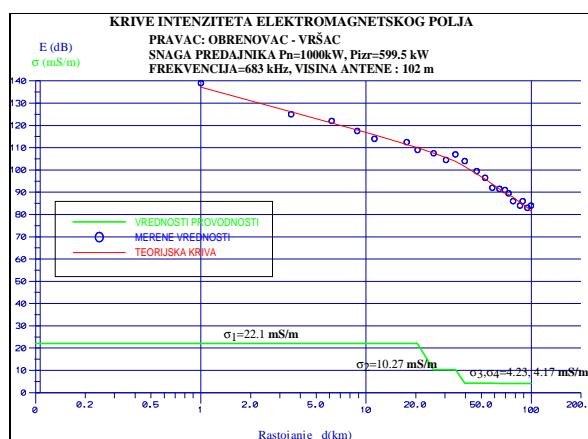


Sl. 2. Krive intenziteta elektromagnetskog polja.

Na pravcu Sombor-Šabac (slika 2) jasno je uočljiv uticaj oblasti planine Fruška Gora dok je na trasi Obrenovac-Vršac verovatan uticaj grada Beograda i/ili avalskog pobrđa (slika 3).

Na slici 4 su dati rezultati za trasu Beograd-Senta koji su prikazani i u Tabeli 1. Ovi rezultati su jedan primer pomenutih merenja polja u 1961. godini a izabrani su u ovom radu da se pokazao njihov kvalitet u odnosu na novija merenja.

Bez obzira što ova merenja ne ispunjavaju uslov, da su obavljana u bliskoj zoni, vidimo da se sa izvesnim ograničenjima, mogu koristiti za procenu uslova prostiranja elektromagnetskih talasa. Imajući na umu da su ovakvim merenjima prekriveni prostori bivše SFRJ jasno je da su ovo dragoceni rezultati. Rezultati merenja na ovoj trasi nešto su lošijeg kavaliteta nego noviji što se vidi iz većeg odstupanja merenih vrednosti od teorijske krive pa ih stoga treba pažljivo analizirati prilikom korišćenja za procenu uslova prostiranja.

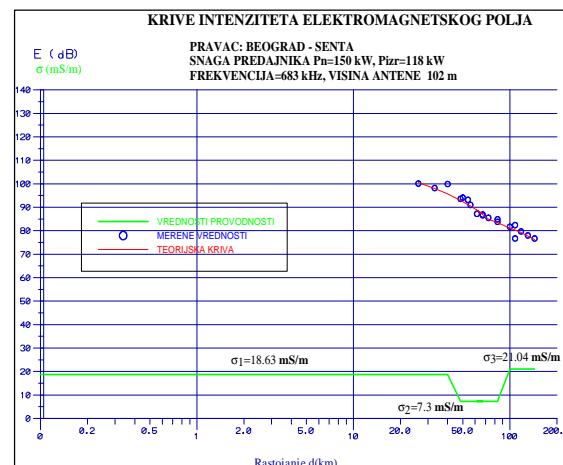


Sl. 3. Krive intenziteta elektromagnetskog polja za Pravac Obrenovac-Vršac, merenja iz 1991. godine

Na slikama su date vrednosti procenjene provodnosti u mS/m na pojedinim segmentima trasa merenja. Ove vrednosti su dobijene višestrukom promenom parametara prostiranja a uz uslov minimalnog odstupanja merenih vrednosti od teorijskih krivih.

Nominalna snaga predajnika  $P_n$  je ulazni parametar pri izračunavanju dok je stvarna izračena snaga predajnika  $P_{izr}$  efektivna snaga procenjena na osnovu numeričkog izračunavanja. Nominalna snaga ili snaga napajanja je dobijena od tehničkih službi odgovarajućih predajnika. Prilikom terenskih kampanja vodilo se računa da se na pojedinoj trasi izvede merenje u što kraćem vremenskom intervalu da bi se zadovoljio uslov jednakne snage zračenja u okviru merenja na trasi. Na velikim odstojanjima preko 200 km merenja su izvođena u toku dnevnih časova da bi se izbegle eventualne smetnje usled talasa reflektovanih od niske jonosfere. U okviru obrađenih trasa nije izražena topografija terena pa smatramo da su ulovi prostiranja bliski preporukama CCIR-a za određivanje provodnosti terena. Na brdovitom i planinskom delu obrađenih trasa u oblasti Fruške Gore i Avale mogući su i efekti stvarne

promene provodnosti usled različitog pedološkog sastava tla a nije isključeno i slabljenje usled difrakcije od topografskih prepreka.



Sl. 4. Krive intenziteta elektromagnetskog polja za Pravac Beograd-Senta, merenja iz 1961. godine

#### IV. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Ovde prikazani rezultati obrade to jest numeričkih izračunavanja i procene provodnosti su samo karakteristični primjeri obimnog materijala dugogodišnjih merenja intenziteta elektromagnetskog polja u srednje talasnom radio opsegu. Vrednosti provodnosti terena duž trase dobijene u ovom radu su u okviru opsega koji se očekuje za ove terene. Na trasi Obrenovac-Vršac je verovatan i uticaj Deliblatske peščara na smanjenje intenziteta elektromagnetskog polja a što daje procenu provodnosti od oko 4 mS/m što su minimalne vrednosti za Vojvodinu. Uticaj planine Fruška Gora je evidentan, mada ostaje nejasno koliki je uticaj same topografske prepreka a koliki provodnosti terena na ovom delu profila. Takođe se ovaj uticaj jasno uočava na obe trase merenja, na pravcu Sombor-Šabac i na pravcu Beograd-Senta.

Pokazano je da su rezultati merenja polja iz perioda pedesetih i šezdesetih godina prošlog veka značajni za ispitivanja uslova prostiranja radio talasa. Može se takođe reći da procene provodnosti iz ovih rezultata mogu biti polazna informacija za procenu uslova prostiranja u višim opsezima učestanosti radio talasa HF/VHF/UHF pa i u oblasti savremenih telekomunikacionih uređaja. U skladu sa ovim nameće se potreba za kompletiranjem baze podataka na savremenom digitalnom nivou i daljoj adaptaciji softvera za obradu i interpretaciju rezultata merenja elektromagnetskog polja.

#### LITERATURA

- [1] V.Lj. Đorđević i S.A. Kurkanović, "Metode mernja električne provodnosti tla preporučene od strane CCIR-a na poslednjem internom zasedanju u Ženevi," *Zbornik radova Geomagnetskog instituta*, Grocka-Beograd, 1981, pp. 31-40.

- [2] L. Gregorač and J. Budin, "Calculation of the efficiency of an MR transmitting aerial and of the average soil conductivity in its immediate vicinity," *EBU Review—Technical*, June, 1976, Vol. 157.
- [3] M. Maširević, "Elektromagnetska polja radio-difuzije u godini 1961.", Godišnji izveštaj, Institut "Mihailo Pupin", Beograd, 1961.
- [4] O. Wibling "Terrain Analysis with Radio Link Calculations for a Map Presentation Program," *Uppsala Master's Thesis, Uppsala University, Uppsala*, pp. 1-65, December 1998.
- [5] T. Gavrilov, "Proučavanje prostiranja elektromagnetskih talasa, utvrđivanje električnih parametara zemlje i izrada odgovarajućih karata," *Fond Geomagnetskog Instituta, Beograd*, 1976.

**Abstract** – The propagation of the radio-wave mainly depends on the electrical characteristics along the propagation path. On the basis of the measurements of the electromagnetic field strenght of radio MF band, the electrical parameter, as is the electrical conductivity, was

determined (in the further text conductivity - $\sigma$ ), along with characteristic propagation paths in the Northern Serbia region. Programs which were adapted in Geomagnetic Institute and recommended by CCIR, were applied in the determination of the conductivity. For the conductivity determination, the measurements of electromagnetic field strenght of radio stations were used. Results of two field campaigns, in the years 1961 and 1991, along propagation paths, were used. Analysis of the results for mentioned field campaigns, point out that the erlier results from 1961 can be used as well as from the year 1991, in the evaluation of the electrical characteristics and that data base from 1951 till 1961 are useful for evaluation of the conductivity.

#### **THE MEASUREMENTS AND PROCESSING OF MF BAND RADIO-WAVES FIELD STRENGTH**

Marija Đorđević, Milan Ponjavić i Nenad Smiljanić