

## SISTEM ZA AUTOMATSKO MERENJE INTENZITETA ELEKTRIČNOG POLJA REALIZOVAN KORIŠĆENJEM SPEKTRALNOG ANALIZATORA PROTEK 3201

Miroslav Petković, Mirjana Simić, Mladen Koprivica, Nataša Nešković, Aleksandar Nešković, Đorđe Paunović  
Elektrotehnički fakultet u Beogradu

**Sadržaj** – U okviru ovog rada realizovan je merni sistem za automatsko merenje intenziteta električnog polja u lokalnoj zoni radio-predajnika. Sistem je realizovan u cilju provere nivoa elektromagnetne emisije sa stanovišta zaštite životne sredine. Upravljački softver za merenje i obradu rezultata realizovan je u programskom paketu C++. Zbog malih dimenzija realizovani merni sistem pogodan je za korišćenje na terenu.

### 1. UVOD

Veliki tehnološki razvoj doveo je do toga da životna i radna sredina ljudi sve češće bude ispunjena mnoštvom elektronskih uređaja. Pored toga, sve veća rasprostranjenost sistema čije se funkcionisanje oslanja na korišćenje elektromagnetnih talasa, uslovalo je da problem uticaja elektromagnetne energije na životnu sredinu, kao i problem elektromagnetne kompatibilnosti (EMC – *Electromagnetic Compatibility*) postanu predmet velikog interesovanja. Istraživanja u ovoj oblasti započeta su pre par decenija, ali su poslednjih godina znatno intenzivirana. Sa namerom da se elektromagnetna interferencija kontroliše i svede na najmanju moguću meru, donet je veliki broj standarda koji regulišu ovu oblast. Jedan od primera je dokument koji je izdao Evropski komitet za elektrotehničku standardizaciju (CENELEC – *European Committee for Electrotechnical Standardization*) 1995. godine, pod nazivom "Human exposure to electromagnetic fields – High frequency (10kHz – 300GHz)" [1]. Ovaj dokument predstavlja završnu verziju predloga standarda za regulisanje ove oblasti i definiše maksimalnu dozvoljeni intenzitet električnog polja za ljudsku populaciju u frekvencijskom opsegu od 10kHz do 300GHz. Preporuke ovog dokumenta su opšte prihvaćene u Evropi. Zbog svega navedenog javila se potreba za realizovanjem automatskog mernog sistema kojim se može odrediti preraspodela elektromagnetne emisije u lokalnoj zoni radio-predajnika. Celokupan merni sistem je računarski upravljani, tako da se kao njegova značajna komponenta javlja i softver koji upravlja tokom merenja i vrši obradu rezultata. Pri realizaciji mernog sistema težilo se zadovoljenju sledećih zahteva: da sistem bude pogodan za rad u terenskim uslovima, da se celokupna obrada rezultata merenja obavi na terenu i da rad na njemu bude jednostavan za operatera.

### 2. MERNI METODOLOGIJA I MERNI SISTEM

Proces merenja nivoa elektromagnetne emisije na lokaciji radio-predajnika sastoji se iz dve faze. Na početku merenja, pomoću spektralnog analizatora analizira se frekvencijski opseg od interesa. Na osnovu ove analize određuju se sve elektromagnetne emisije koje značajnije utiču na životnu sredinu. Nakon toga, sledi faza u kojoj se svaka od značajnih komponenti meri ponaosob pomoću realizovanog mernog sistema. Razmatrani merni sistem sačinjavaju sledeće komponente: ručni spektralni analizator *Protek 3201*, merna kalibrisana antena i *notebook* računar (Sl. 1).

Spektralni analizator *Protek 3201* pokriva frekvencijski opseg od 100 kHz do 2.060 GHz [2], čime je omogućena

njegova primena za merenje elektromagnetne emisije u veoma širokom opsegu učestanosti. Male dimenzije čine ga pogodnim za rad u terenskim uslovima. Veza korišćenog spektralnog analizatora sa *notebook* računarom ostvarena je preko serijskog RS-232C interfejsa [3]. Serijska komunikacija ostvaruje se prema definisanom protokolu za spektralni analizator, na osnovu kojeg su određeni formati naredbi za zadavanje parametara rada i tipa merenja, kao i format podataka koje instrument šalje kao rezultat merenja. Korišćenjem navedenog protokola omogućeno je da se posredstvom realizovanog upravljačkog softvera odvija komunikacija spektralnog analizatora i *notebook* računara.



Slika 1. Prikaz mernog sistema

Da bi se odredio ukupan intenzitet električnog polja koji potiče od jednog (*i*-tog) radio-predajnika potrebno je odrediti intenzitet električnog polja u tri ortogonalne ravni (meri se jedna vertikalna i dve ortogonalne horizontalne komponente električnog polja). Ukupna vrednost intenziteta električnog polja na jednoj mikrolokaciji koja potiče od jednog (*i*-tog) radio-predajnika dobija se prema sledećoj formuli:

$$E_{tot-i} = \sqrt{E_{v1-i}^2 + E_{h1-i}^2 + E_{h2-i}^2} \quad (1)$$

gde je  $E_{v1-i}$  - vertikalna komponenta električnog polja, a  $E_{h1-i}$  i  $E_{h2-i}$  - horizontalne ortogonalne komponente električnog polja radio-predajnika.

Prilikom određivanja intenziteta električnog polja za jednu komponentu, koja potiče od jednog radio-predajnika, potrebno je da spektralni analizator bude podešen na frekvenciju tog radio-predajnika i da merna antena bude u položaju za merenje potrebne komponente. Spektralni analizator *Protek 3201* nema mogućnost direktnog merenja intenziteta električnog polja. U cilju dobijanja tog podatka, vrši se merenje nivoa snage signala u dBm na zadatoj

frekvenciji, a potom se u skladu sa parametrima korišćene merne antene računa inteznitet električnog polja.

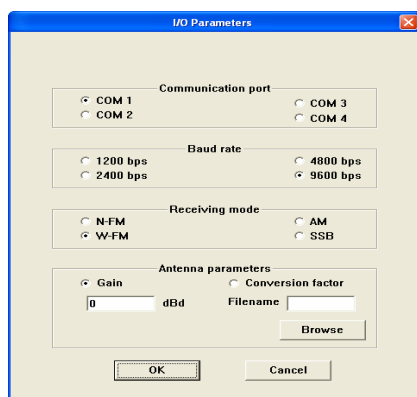
Realizovani merni sistem često se koristi za merenje električnog polja koje potiče od predajnika GSM baznih stanica. Za te primene mora se uzeti u obzir postojanje kontrolnih i saobraćajnih kanala. Kontrolni kanali baznih stanica su stalno aktivni, dok saobraćajni kanali najčešće rade u režimu "emitovanja sa prekidima". Zbog toga je neophodno vršiti merenja isključivo na kontrolnim kanalima. Kao rezultat merenja dobijaju se granice u kojima može da se nađe vrednost intenziteta električnog polja. Donja granica se dobija kad se pretpostavi da su aktivni samo kontrolni kanali, a da su saobraćajni kanali neaktivni, što predstavlja slučaj minimalnog opterećenja bazne stanice (npr., tokom noći). Gornja granica intenziteta električnog polja dobija se ako se pretpostavi rad bazne stanice u punom kapacitetu, što predstavlja slučaj maksimalnog opterećenja bazne stanice. Prilikom određivanja gornje granice smatra se da je vrednost intenziteta električnog polja koja potiče od saobraćajnog kanala jednaka intenzitetu električnog polja koje potiče od kontrolnog kanala. Vrednost koja se dobija za gornju granicu odgovara najgorem slučaju, tj. pretpostavlja se da su saobraćajni kanali stalno aktivni, što često nije slučaj u operativnom radu.

Na prethodno opisani način određuju su vrednosti intenziteta električnog polja koje potiču od svakog radio-predajnika (kanala) ponaosob ( $E_{tot-i}$ ). Polazeći od ovih vrednosti ukupni intenzitet električnog polja  $E_{tot}$  određuje se na osnovu relacije:

$$E_{tot} = \sqrt{\sum_i E_{tot-i}^2} \quad (2)$$

### 3. UPRAVLJAČKI SOFTVER

Upravljački deo sistema čini softver koji je realizovan u programskom paketu C++ [4][5]. Uloga ovog softvera je da omogući automatsko merenje intenziteta električnog polja, obradi rezultate merenja na samoj lokaciji, prikaže i sačuva informacije o tačnoj mikrolokaciji na kojoj je izmereni intenzitet električnog polja dobijen. Nakon što se na mernoj lokaciji ustanove značajne elektromagnetne emisije, tj. učestanosti na kojima intenzitet električnog polja ima značajnu vrednost, aktivira se program za merenje. Kontrolni panel, pomoću kojeg se definišu parametri serijske komunikacije spektralnog analizatora *Protek 3201* sa *notebook* računarom i parametri antene, prikazan je na sl. 2.



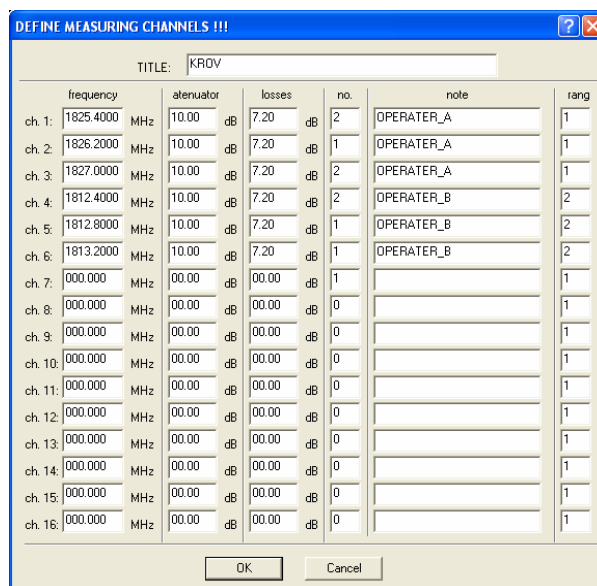
Slika 2. Kontrolni panel za definisanje parametara serijske komunikacije i parametara antene

Oznaka serijskog interfejsa na računaru na koji se priključuje merni uređaj, bira se u okviru *Communication*

*port* dela. Brzina serijske komunikacije bira se u delu *Baud rate* tako da izabrana brzina odgovara brzini unapred podešenoj na spektralnog analizatoru. U okviru ovog panela, u delu *Receiving mode* moguće je izabrati jedan od četiri tipa signala čije merenje vrši spektralni analizator *Protek 3201*.

U delu *Antenna parameters* vrši se unos podataka o anteni koja se koristi prilikom merenja. Ukoliko se za merenje koristi kalibrisana merna antena, za koju su faktori konverzije na odgovarajućim frekvencijama smešteni u tekstualnu datoteku, bira se opcija *Conversion factor*. Potrebno je da se u panelu koji se pojavljuje pritiskom na *Browse* locira tekstualna datoteka sa faktorima konverzije ili da se direktno ukuca putanja do datoteke u polje *Filename*. U slučaju da se merenje vrši antenom za koju nisu definisani faktori konverzije, u delu *Antenna parameters* bira se *Gain* i upisuje dobitak antene u dB<sub>a</sub>. Podrazumeva se dobitak antene 0dB<sub>a</sub> koji odgovara antenama u formi polutalasnog dipola. Unosom parametara antene posredno se vrši izbor načina na koji upravljački softver obrađuje rezultate merenja i računa inteznitet električnog polja. Ukoliko se merenje vrši kalibrisanom antenom, za računanje intezniteta električnog polja koristi se faktor konverzije koji predstavlja vezu između nivoa napona i nivoa električnog polja. Program na osnovu podatka o srednjem nivou snage signala računa nivo napona. Preko faktora konverzije dobija se nivo električnog polja, na osnovu kojeg se daljom obradom dobija inteznitet električnog polja. Ukoliko se merenje vrši antenom za koju je poznat dobitak, inteznitet električnog polja računa se direktno iz podatka o srednjem nivou snage signala.

Kontrolni panel kojim se definišu parametri merenja prikazan je na sl. 3. Polje *TITLE* predstavlja naziv merne lokacije na kojoj se vrši merenje. Na osnovu naziva koji se ovde upiše, generiše se naziv tekstualne datoteke sa numeričkim rezultatima obrade i nazivi slika sa izmerenim vrednostima električnog polja.



Slika 3. Kontrolni panel za definisanje parametara merenja

U prvu kolonu *frequency* unose se učestanosti na kojima se vrši merenje, tj. učestanosti svih uočenih značajnih komponenti. U slučaju merenja elektromagnetnih emisija baznih stanica upisuju se učestanosti kontrolnih kanala.

U kolonama *attenuator* i *losses* unose se informacije o vrednosti slabljenja atenuatora koji se koristi prilikom merenja i vrednosti slabljenja antenskih kablova na mernim učestanostima, respektivno. Atenuator ima ulogu da oslabi signal velikog nivoa da bi se njegova vrednost našla u

granicama dinamičkog opsega spektralnog analizatora *Protek* 3201.

Kolona *no.* značajna je za sisteme koji pored kontrolnog kanala, koji se meri, imaju i saobraćajne kanale koji se dopunski računavaju. Vrednost koja se upisuje je ukupan broj kanala za jedan sektor (zbir jednog kontrolnog i odgovarajućeg broja saobraćajnih kanala). U primeru prikazanom na sl. 3. prisutni su signali baznih stanica čije su konfiguracije 2+1+2 i 2+1+1.

Poslednje dve kolone *note* i *rang*, određuju sistem kojem pripadaju merne učestanosti. Na osnovu ovih podataka određuje se način prikazivanja doprinosa pojedinih sistema ukupnoj elektromagnetnoj emisiji. U kolonu *note* upisuju se nazivi sistema iz kolone *frequency*, a u kolonu *rang* redni broj koji se dodeljuje sistemu.

Nakon definisanja svih potrebnih parametara koji određuju uslove pod kojima se vrši merenje, proces merenja se aktivira. Učitana ili u okviru mernog softvera nacrtana slika mikrolokacije na kojoj se vrši merenje predstavlja radnu površinu upravljačkog softvera i neophodno je da bude u \*.bmp formatu. Merenje na željenoj mikrolokaciji započinje dvostrukim klikom na odgovarajućoj poziciju na radnoj površini, nakon čega se pojavljuje poruka da mernu antenu treba postaviti u položaj u kojem će se meriti prva komponenta električnog polja. Tokom merenja računar komunicira sa spektralnim analizatorom *Protek* 3201 podešavajući ga na zadate učestanosti iz panela za definisanje parametra merenja (Sl. 3.). Za svaku merenu učestanost računar očitava deset odbiraka nivoa snage signala, koje izmeri spektralni analizator, i na osnovu srednje vrednosti računa intenzitet električnog polja. Nakon završetka merenja za prvu komponentu pojavljuje se poruka da mernu antenu

treba postaviti u položaj u kojem će se meriti druga, a zatim treća prostorna komponenta električnog polja. Ovaj proces se ponavlja za svaku mikrolokaciju na datoj mernoj lokaciji.

#### 4. PRIKAZ REZULTATA MERENJA

Rezultati merenja smeštaju se u tekstualnu datoteku čija je forma prikazana na sl. 4. U okviru zaglavlja datoteke prikazuje se naziv lokacije i vreme kad je izvršeno merenje. Nakon zaglavlja upisuje se segment iz kontrolnog panela za definisanje parametara merenja kojim je operater definisao uslove merenja. Potom slede rezultati merenja koji su tabelarno prikazani. Broj vrsta tabele odgovara broju mikrolokacija na kojima je merenje izvršeno. U kolonama se smeštaju izmerene vrednosti intenziteta električnog polja, pri čemu njihov broj zavisi od zahtevanog broja merenih učestanosti. Podaci su organizovani tako da se za svaku merenu učestanost prikazuju tri kolone, koje se odnose na tri merene prostorne komponente električnog polja. Prve tri kolone odnose se na tri prostrone komponente električnog polja na prvoj merenoj učestanosti, sledeće tri kolone su tri prostrone komponente električnog polja na drugoj učestanosti, itd. Nakon toga slede prikazi minimalnih (ako se radi o GSM signalu baznih stanica ovaj podatak odgovara slučaju minimalnog opterećenja) i maksimalnih (slučaj maksimalnog opterećenja) vrednosti intenziteta električnog polja po mernim učestanostima. Ako je reč o sistemima koji nemaju odvojene kontrolne i saobraćajne kanale, ove dve vrednosti su jednake. Intenziteti električnog polja *EI\_min* i *EI\_max* odgovaraju prvoj merenoj učestanosti, a nakon toga slede minimalne i maksimalne vrednosti električnog polja za ostale merene učestanosti. Na osnovu prethodnih podataka sračunate su i prikazane minimalne (*Erangl\_min*) i

```
Lokacija: KROW
Date and time: Tue Jan 25 10:06:49 2005

Zahtevano je merenje 6 kanala:

ch. frekvencija att losses no rang note merni_sistem
-----
1. 1825.4000 10.00 7.20 2 1 OPERATER_A PROTEK 3201
2. 1826.2000 10.00 7.20 1 1 PROTEK 3201
3. 1827.0000 10.00 7.20 2 1 PROTEK 3201
4. 1812.4000 10.00 7.20 2 2 OPERATER_B PROTEK 3201
5. 1812.8000 10.00 7.20 1 2 PROTEK 3201
6. 1813.2000 10.00 7.20 1 2 PROTEK 3201

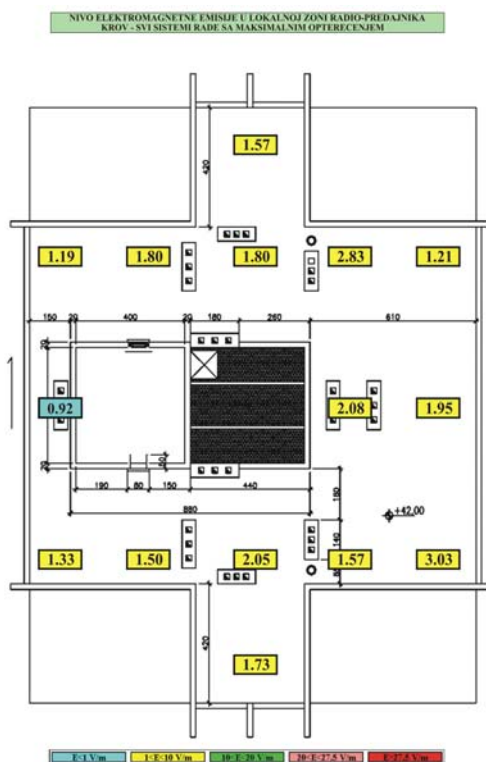
-----
!! REZULTATI MERENJA !!
-----

pt. |Fx[1] Fy[1] Fz[1]|... ..
-----+-----
1. |0.472 0.267 0.064|... El_min=0.546 El_max=0.772...Erangl_min=0.850 Erangl_max=1.105...Ettotal_min=1.066 Ettotal_max=1.332
2. |0.220 0.053 0.124|... El_min=0.258 El_max=0.365...Erangl_min=0.714 Erangl_max=0.790...Ettotal_min=0.844 Ettotal_max=0.923
3. |0.338 0.072 0.319|... El_min=0.471 El_max=0.666...Erangl_min=0.765 Erangl_max=0.914...Ettotal_min=1.060 Ettotal_max=1.189
4. |0.271 0.210 0.325|... El_min=0.472 El_max=0.668...Erangl_min=1.528 Erangl_max=1.620...Ettotal_min=1.682 Ettotal_max=1.801
5. |0.269 0.117 0.244|... El_min=0.382 El_max=0.541...Erangl_min=1.056 Erangl_max=1.215...Ettotal_min=1.273 Ettotal_max=1.495
6. |0.430 0.183 0.221|... El_min=0.517 El_max=0.731...Erangl_min=1.146 Erangl_max=1.277...Ettotal_min=1.390 Ettotal_max=1.574
7. |0.368 0.346 0.638|... El_min=0.815 El_max=1.152...Erangl_min=1.089 Erangl_max=1.421...Ettotal_min=1.456 Ettotal_max=1.730
8. |0.515 0.348 0.672|... El_min=0.916 El_max=1.295...Erangl_min=1.473 Erangl_max=1.817...Ettotal_min=1.736 Ettotal_max=2.046
9. |0.602 0.127 0.284|... El_min=0.678 El_max=0.959...Erangl_min=1.542 Erangl_max=1.690...Ettotal_min=1.645 Ettotal_max=1.802
10. |0.368 0.285 0.873|... El_min=0.990 El_max=1.400...Erangl_min=2.026 Erangl_max=2.282...Ettotal_min=2.617 Ettotal_max=2.826
11. |0.203 0.991 0.147|... El_min=1.023 El_max=1.447...Erangl_min=1.519 Erangl_max=1.895...Ettotal_min=1.712 Ettotal_max=2.077
12. |0.215 0.201 0.356|... El_min=0.462 El_max=0.654...Erangl_min=0.767 Erangl_max=0.958...Ettotal_min=1.423 Ettotal_max=1.570
13. |0.158 1.050 0.454|... El_min=1.155 El_max=1.634...Erangl_min=1.269 Erangl_max=1.751...Ettotal_min=2.532 Ettotal_max=3.033
14. |0.061 0.901 0.863|... El_min=1.250 El_max=1.768...Erangl_min=1.403 Erangl_max=1.906...Ettotal_min=1.451 Ettotal_max=1.949
15. |0.096 0.185 0.121|... El_min=0.241 El_max=0.341...Erangl_min=0.870 Erangl_max=0.999...Ettotal_min=1.099 Ettotal_max=1.209
```

Slika 4. Segment izlazne tekstualne datoteke u koju se upisuje izveštaj o merenju

maksimalne ( $E_{rangl\_max}$ ) vrednosti intenziteta električnog polja po sistemima definisanim u okviru panela za definisanje parametra merenja (Sl. 3.). Ovim je omogućeno da se vidi udeo svakog od prisutnih sistema na ukupnu elektromagnetnu emisiju, na mernoj mikrolokaciji. Vrednosti  $E_{rangl\_max}$  i  $E_{rangl\_min}$  odgovaraju sistemu kome je dodeljen prvi rang, a nakon toga slede vrednosti električnog polja po sistemima kojima su dodeljeni ostali rangovi. Na kraju, prikazane su ukupne maksimalne ( $E_{total\_max}$ ) i minimalne ( $E_{total\_min}$ ) vrednosti intenziteta električnog polja kada su na mernoj lokaciji aktivni svi postojeći sistemi. Na osnovu prethodnih podataka dobija se uvid u ukupni nivo elektromagnetne emisije na mernoj lokaciji, kao i u doprinos svakog od prisutnih sistema.

Pored formirane tekstualne datoteke, program generiše niz grafičkih prikaza rezultata merenja u formi \*.bmp datoteka. Na sl. 5. data je ilustracija jedne \*.bmp datoteke koja se dobija kao rezultat rada ovog mernog sistema. Osnovu za ove prikaze predstavlja slika merne lokacije, koja predstavlja radnu površinu programa tokom procesa merenja. Za svaki od definisanih sistema pojedinačno i za sve sisteme zajedno, formiraju se grafički prikazi merne lokacije sa ucrtanim vrednostima intenziteta električnog polja dobijenih na mernim mikrolokacijama. U slučaju sistema sa odvojenim kontrolnim i saobraćajnim kanalima formiraju se, na posebnim slikama, prikazi rezultata merenja za slučaj minimalnog i maksimalnog opterećenja. Na kraju, za sve sisteme istovremeno, formiraju se slike sa minimalnom i maksimalnom ukupnim intenzitetom električnog polja. Pored navedenih slika, upravljački softver generiše i grafički prikaz sa rednim brojevima mernih mikrolokacija, što omogućava povezivanje tekstualne datoteke sa grafičkim prikazima.



Slika 5. Grafički prikaz merne lokacije sa rezultatima merenja

Posebno treba napomenuti da je realizovani merni sistem moguće integrisati sa automatskim mernim sistemom za iste namene, koji za merenje koristi merne prijemnike *Anritsu ML521B* i *Anritsu ML522B* [6]. Ovim je omogućeno istovremeno merenje elektromagnetnih emisija, korišćenjem više mernih kalibriranih antena, koje su tipično predviđene za korišćenje samo u delu ukupnog opsega učestanosti, koji pokriva realizovani merni sistem.

## 5. ZAKLJUČAK

Merni sistem realizovan u ovom radu brzo i pouzdano određuje preraspodelu elektromagnetne emisije u lokalnoj zoni radio-predajnika. Zbog svojih malih dimenzija sistem je veloma pogodan za rad u terenskim uslovima. Postupak merenja i korišćenje upravljačkog softvera su jednostavni za operatera. Proces merenja je potpuno automatizovan i omogućava prikaz rezultata na samoj mernoj lokaciji

Realizovani sistem se uspešno primenjuje za merenje nivoa elektromagnetne emisije u lokalnoj zoni GSM baznih stanica svih mobilnih operatera na teritoriji Srbije i Crne Gore.

## LITERATURA

- [1] *Human exposures to electromagnetic fields. High frequency (10kHz to 300GHz)*, European prestandard ENV 50166-2, CENELEC – European Committee for Electrotechnical Standardization, Januar 1995.
- [2] 2 GHz RF Field Analyzer – Instruction Manual, Protek
- [3] [http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/library/en-us/dnfiles/html/msdn\\_serial.asp](http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/library/en-us/dnfiles/html/msdn_serial.asp)  
Allen Denver, Serial Communications in Win32
- [4] Borland C++ 4.0 Programming for Windows, Paul Yao, Borland press, New York, 1994.
- [5] <http://owlnext.sourceforge.net/tutorial.html>  
ObjectWindows Tutorial
- [6] TELFOR 2003, Sistem za automatsko merenje elektromagnetne emisije u lokalnoj zoni radio-predajnika, Mirjana Simić, Mladen Koprivica, Aleksandar Nešković, Nataša Nešković, Đorđe Paunović.

**Abstract** – A new system for automatic measurement of electrical field strength in the near vicinity of radio-transmitter sites, is presented in this paper. Handheld spectral analyzer PROTEK 3201 is used as a measuring unit. Mobility of this system and full automatization of the measurement process are achieved by connecting the measuring unit to the notebook computer. The software used to control and manage the system is implemented in C++. This system is reliable and suitable for measurements on the field.

## SYSTEM FOR AUTOMATIC MEASUREMENT OF ELECTRICAL FIELD INTENSITY USING SPECTRAL ANALYZER PROTEK 3201

Miroslav Petković, Mirjana Simić, Mladen Koprivica, Nataša Nešković, Aleksandar Nešković, Đorđe Paunović