

# Modelovanje prostiranja EM talasa u urbanoj sredini korišćenjem hibridnog empirijsko-neuronskog pristupa

Marija Milijić, Bratislav Milovanović, Zoran Stanković

*Sadržaj* — U ovom radu je izložen postupak određivanja jačine električnog polja RF predajnika u urbanoj sredini za frekvencijski opseg 150-1500 MHz korišćenjem hibridnog empirijsko-neuronskog (HEN) modela koji je zasnovan na Okamura-Hata modelu. Okamura-Hata model, jedan od češće korišćenih modela u predikciji jačine električnog polja, ne uzima u obzir sve specifičnosti i uticaje sredine kroz koju se signal prostire. Zbog toga, rezultati dobijeni ovim modelom mogu značajno odstupati od merenih rezultata što je često slučaj u propagacionim oblastima naših prostora. Međutim, sprežanjem Okamura-Hata modela kao nosioca početnog (grubog) znanja o EM propagaciji u urbanoj sredini i veštačke neuronske mreže može se realizovati HEN model za efikasnu predikciju jačine električnog polja čije su vrednosti predikcije bliže merenim vrednostima nego vrednosti koje daje samostalni Okamura-Hata model. Rezultati dobijeni HEN modelom prikazani su na georeferenciranoj podlozi specijalizovanog *GIS-MW GeoRef* softvera.

*Ključne reči* — Okamura-Hata model, neuronske mreže, propagacija EM talasa, urbana sredina.

## I. UVOD

**E**FIKASNA predikcija jačine električnog polja je od vitalnog značaja za projektovanje savremenih bežičnih komunikacionih sistema. Veliki broj globalnih i lokalnih parametara kao što su reljef, objekti na putu prostiranja, klimatska zona, indeks prelamanja u atmosferi, prostiranje po više puteva i dr. utiču na prostiranje EM talasa. Stoga je izuzetno teško razviti univerzalni algoritam za određivanje jačine električnog polja koji će uzeti u obzir sve te uticaje, a koji će biti numerički rešiv a uz to i imati prihvatljivo vreme izračunavanja na nekoj određenoj hadverskoj platformi. Postojeće metode koje se koriste za predikciju jačine električnog polja uglavnom parcijalno uzimaju u obzir te uticaje. Generalno, ovi modeli, bilo da su oni empirijski, poluanalitički ili statistički, zbog učinjenih aproksimacija obično nemaju visoku tačnost u celom prostoru ulaznih promenljivih a takođe imaju i različita ograničenja u pogledu oblasti važenja modela koji se primenjuje.

Kao dobra alternativa za prevazilaženje gore navedenih problema može biti modelovanje jačine električnog polja bazirano na upotrebi veštačkih neuronskih mreža. Ohrabrujući rezultati koji su postignuti u ovoj oblasti [1-9] pokazali su da neuronski modeli mogu biti znatno brži i tačniji od raznih empirijskih i aproksimativnih modela. Ključ za ovu činjenicu leži u dve glavne osobine veštačkih neuronskih mreža. Prva je da ona predstavlja

visokoparalelizovanu distribuiranu arhitekturu koja je sastavljena od jako povezanih malih procesnih jedinica - neurona. Ovo omogućuje da se pomoću modela baziranog na veštačkoj neuronskoj mreži modeluju visokodimenzionalni i visokonelinearni problemi uz brz protok signala sa ulaza na izlaz. Druga osobina je da se veštačke neuronske mreže ne programiraju da izvršavaju unapred poznate funkcionalne zavisnosti, već one te funkcionalne zavisnosti uče na osnovu skupa rešenih primera. Kada se proces učenja veštačke mreže završi ona ne daje rešenja samo za rešene primere koji su joj predstavljani tokom obuke, već vrše predikciju rešenja i za primere koji nisu bili prisutni tokom obuke, što se naziva svojstvom generalizacije. Ranije razvijeni modeli za predikciju nivoa električnog polja [3-4], koji su zasnovani na čistoj MLP arhitekturi i koji su obučavani skupom merenih vrednosti, imali su zadovoljavajuću tačnost ali je za njihovu obuku bio potreban veliki skup podataka za obuku. Dalja istraživanja u [5-9] pokazuju da HEN modeli propagacije EM talasa, zbog svoje karakteristike da uključuje dodatno znanje o problemu, mogu dostići zadovoljavajuću tačnost i na skupu podataka za obuku koji je manji od onog koji je potreban za razvoj čistog MLP modela zadovoljavajuće tačnosti. Za razliku od HEN modela u [5-9] koji kao empirijski nosilac znanja koristi aproksimativni model zasnovan na parcijalnom doprinosu slabljenu talasa od strane prepreka na trasi prostiranja, u ovom radu se za realizaciju HEN modela kao empirijski nosilac uzima Okamura-Hata model koji ima širu primenu.

Arhitektura kao i princip rada predloženog HEN modela čine ovaj model pogodnim za integraciju u odgovarajuće specijalizovano GIS okruženje. Time se može dobiti ne samo sistem koji omogućava visok stepen automatizacije procesa prikupljanja podataka za obuku neuronskog modela već i sistem koji omogućava jedan veoma efikasan način prikaza i analize rezultata predikcije nivoa električnog polja u georeferenciranom okruženju izabranog predajnika. Ovakav sistem, koji je prikazan u radu, nakon faze obuke HEN modela može da u veoma kratkom vremenskom intervalu izvrši generisanje cele servisne zone (ili dela zone) u bilo kojoj oblasti urbane sredini koja je od interesa za analizu rada RF predajnika. Prikaz procenjenih nivoa električnog polja servisne zone realizuje se preko grafičkog interfejsa na georeferenciranoj podlozi specijalizovane *GIS-MW GeoRef* aplikacije [8].

## II. HIBRIDNI MODEL ZA PREDIKCIJU JAČINE ELEKTRIČNOG POLJA U URBANOJ SREDINI

HEN model za predikciju jačine električnog polja u urbanoj sredini predstavlja kombinaciju empirijskog modela i neuronske mreže [5,7,9]. Ovaj model se razvija u

Marija Milijić, Bratislav Milovanović, Zoran Stanković, Elektronski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, Niš, Srbija  
E-mail:[marijam,batam,zoran]@elfak.ni.ac.yu

dve faze. U prvoj fazi realizuje se empirijski nosilac znanja o propagacionoj oblasti korišćenjem Okamura-Hata modela [10-12]. Okamura-Hata model predstavlja prilagođenje Okamura modela za izračunavanja na računaru. Hata je izveo empirijske matematičke izraze čije su krive veoma bliske Okumurinim krivama dobijene merenjima. Slabljenje na propagacionoj trasi je prema Okamura-Hata modelu dati sledećim izrazom (1):

$$A_e[dB] = 69.55 + 26.16 \cdot \log_{10}(f[\text{MHz}]) - 13.82 \cdot \log_{10}(h_{ref}[m]) - g(h_{ref}[m]) + (44.9 - 6.55 \cdot \log_{10}(h_{ref}[m])) \cdot (\log_{10}(d[\text{km}]))^b \quad (1)$$

gde je  $f$  radna frekvencija antene,  $h_{ref}$  efektivna visina antene predajnika,  $h_{ref}$  efektivna visina antene prijemnika i  $d$  rastojanje između prijemnika i predajnika. Član kojim se vrši korekcija ima oblik za mali/srednji grad (pri čemu se za mali-srednji grad uzimaju urbane oblasti sa zgradama čija prosečna visina ne prelazi 15m):

$$g(h_{ref}[m]) = (1.1 \cdot \log_{10}(f[\text{MHz}]) - 0.7)h_{ref} - (1.56 \cdot \log_{10}(f[\text{MHz}]) - 0.8) \quad (2)$$

dok za veliki grad, gde dominiraju zgrade sa prosečnom visinom koja prelazi 15 m, kada je  $f > 300$  MHz ima oblik:

$$g(h_{ref}[m]) = 3.2 \cdot \log_{10}(11.75 \cdot h_{ref})^2 - 4.97 \quad (3)$$

odnosno kada je  $f \leq 300$  MHz ima oblik:

$$g(h_{ref}[m]) = 8.29 \cdot \log_{10}(1.54 \cdot h_{ref})^2 - 1.1 \quad (4)$$

Faktor  $b$  predstavlja proširenje Okamura-Hata modela za velika rastojanja. On je jednak 1 za mala rastojanja, ali za rastojanja veća od 20 km ovaj faktor se izračunava pomoću jednačine(5):

$$b = \begin{cases} 1, & d < 20\text{km} \\ 1 + (0.14 + 0.000187 \cdot f[\text{MHz}] + 0.00107 \cdot h_{ref}') \cdot (\log_{10}((d[\text{km}]/20)^{0.8}), & d \geq 20\text{km} \end{cases} \quad (5)$$

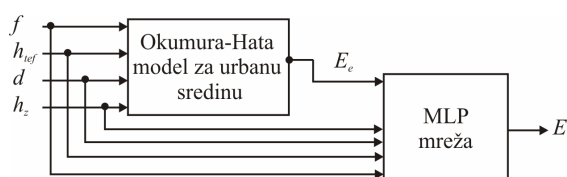
gde je:

$$h_{ref}' = \frac{h_{ref}[m]}{1 + 7 \cdot 10^{-6} \cdot h_{ref}^2[m]} \quad (6)$$

Ograničenja za ovaj model su sledeća:  $h_{ref}$  je u opsegu 30-200 m,  $h_{ref}$  je u opsegu 1-10 m,  $d$  je u opsegu 1-200 km i frekvencijski opseg  $f$  je 150-1500 MHz.

U drugoj fazi razvoja HEN modela, empirijski nosilac znanja i neuronska mreža se integrišu (Slika 1). Kako se razmatra slučaj kada je  $h_{ref}=1.5$  m, problem koji se modeluje je oblika:

$$E = f_{MLP}(f, h_{ref}, d, E_e) \quad (7)$$



Sl. 1 HEN model za predikciju jačine električnog polja u urbanoj sredini

Mreža za modelovanje prostiranja EM talasa se sastoji od ulaznog, dva skrivena i izlaznog sloja. Broj neurona

ulaznog sloja jednak je broju parametara koji utiču na propagaciju EM talasa. U našem slučaju to je pet parametara: radna frekvencija antene  $f$ , efektivna visina antene predajnika  $h_{ref}$ , rastojanje između antene i prijemnika  $d$ , prosečna visinu zgrada  $h_z$  u urbanoj sredini i jačina električnog polja  $E_e$  izračunata korišćenjem Okamura Hata modela. Broj neurona skrivenog sloja je promenljiv, a u izlaznom sloju postoji jedan neuron čiji je izlaz jačina električnog polja. Opšta oznaka za ovako definisan HEN model je  $HEN_{n-N_1-N_2-\dots-N_I-\dots-N_H}$  gde  $n$  predstavlja ukupan broj neuronskih slojeva modela,  $H=n-2$  je broj skrivenih slojeva a  $N_i$  broj neurona u  $i$ -tom skrivenom sloju. Kao primer modelovanja ovom arhitekturom u ovom radu je izvršena predikcija jačine električnog polja RF predajnika sa efektivnom izotropnom snagom zračenja od 1 kW.

U obuci neuronskog modela korišćeni su mereni rezultati jačine električnog polja dobijeni iz ITU-R P.1546 preporuke (koji su bili zadovoljavali kriterijum 50 % prostora i 50 % vremena) [13]. Ovi mereni rezultati, koji odgovaraju otvorenoj ruralnoj sredini su korigovani na osnovu vrednosti prosečne visine zgrada u urbanoj sredini. Prilikom prostiranja EM talasa kroz urbanu sredinu, postoji slabljenje od strane objekata koji su prisutni na trasi prostiranja. Ukoliko su na trasi prostiranja, čija je dužine manja od 15 km, prisutne propagacione oblasti sa objektima uniformne visine, korekcija koja predstavlja slabljenje jačine polja zbog uticaja tih objekata mora biti uzeta u obzir pri određivanju jačine električnog polja. Ta korekcija je data kao [13]:

$$k = -3.3 \cdot (\log_{10}(f)) \cdot (1 - 0.85 \cdot \log_{10}(d)) \cdot (1 - 0.46 \cdot \log_{10}(1 + h_{ref} - h_z)) \quad (8)$$

gde je  $h_{ref}$  efektivna visina antene a  $h_z$  predstavlja visinu objekata propagacione oblasti. Ova korekcija se može primeniti samo ako je udaljenje između antene i prijemnika  $d$  manja od 15 km i ako je razlika visine antene i visina zgrada propagacionih oblasti  $h_{ref}-h_z$  manja od 150 m.

Obuka HEN modela izvršena sa 9130 uzoraka za obuku [13] u opsezima ulaznih parametara:  $150 \text{ MHz} \leq f \leq 1.5 \text{ GHz}$ ,  $37.5 \text{ m} \leq h_{ref} \leq 200 \text{ m}$ ,  $1 \text{ km} \leq d \leq 15 \text{ km}$  i  $0 \text{ m} < h_z < 36 \text{ m}$ . Primenjen je Quasi-Newtonov algoritam obuke.

### III. REZULTATI TESTIRANJA

Testiranje obučenih HEN modela izvršeno je na uniformnom test skupu koji se sastoji od 760 uzoraka koji se nisu koristili u obuci da bi se ispitala generalizacija problema za koji je mreža obučena. Izdvojena su osam modela čiji su rezultati testiranja prikazani u Tabeli 1.

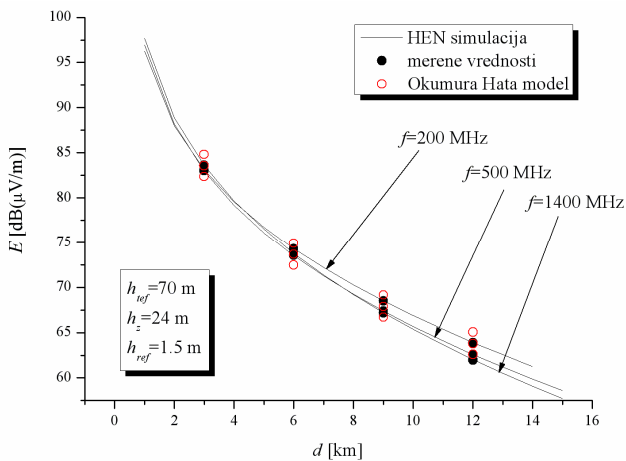
TABELA 1. REZULTATI TESTIRANJA OBUČENIH HEN MODELA

Mreža	WCE [dB]	ACE [dB]	$r^{ppm}$
HEN4-22-22	0,1192	0,0421	1,0000
HEN4-14-14	0,3127	0,0611	1,0000
HEN4-22-20	0,2692	0,0771	1,0000
HEN4-14-12	0,3324	0,0731	0,9999
HEN4-12-10	0,3351	0,0870	0,9999
HEN4-22-15	0,4140	0,0894	0,9999
HEN4-10-9	0,4867	0,0892	0,9999
HEN4-17-11	0,7348	0,0937	0,9999

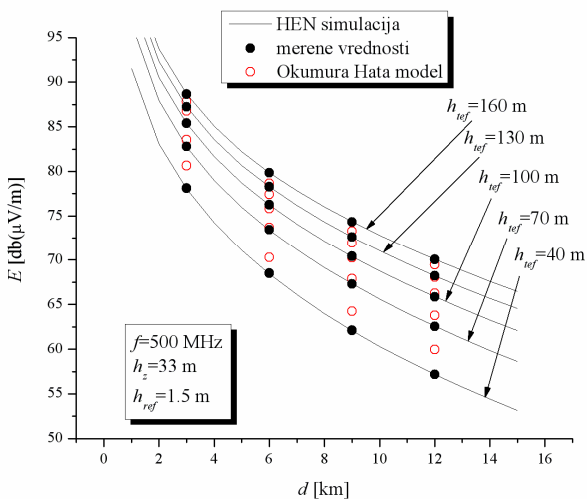
Kao glavno merilo za kvalitet obuke korišćena je vrednost prosečne i maksimalne relativne greške (ACE i WCE) kao i vrednost Pearson Product-Moment korelacionog koeficijenta ( $r^{PPM}$ ) na osnovu kojih je izabrana mreža sa  $N_1=22$  i  $N_2=22$  neurona.

#### IV. REZULTATI SIMULACIJE

Za proces simulacije funkcije zavisnosti jačine električnog polja od  $f$ ,  $h_{tef}$ ,  $d$  i  $h_z$  parametara uzet je model HEN4-22-22 koji je pokazao najbolje test karakteristike. Sl. 2. prikazuje poređenje izlaza HEN modela i merenih referentnih vrednosti kao i poređenje izlaza HEN modela i vrednosti dobijenih Okamura-Hata modelom u zavisnosti od rastojanja između antene i prijemnika  $d$  za različite vrednosti frekvencije  $f$  ( $f=200$  MHz,  $f=500$  MHz i  $f=1400$  MHz). Može se uočiti slaganje vrednosti dobijenih HEN modelom i merenih vrednosti kao i određeno odstupanje vrednosti dobijenih HEN modelom od vrednosti dobijenih Okamura-Hata modelom. Isti zaključak se može dobiti i sa Sl. 3. i Sl. 4. Na Sl. 3 prikazane su krive zavisnosti jačine električnog polja od rastojanja  $d$  za različite vrednosti visine antene  $h_{tef}$  ( $h_{tef}=40$  m,  $h_{tef}=70$  m,  $h_{tef}=100$  m,  $h_{tef}=130$  m i  $h_{tef}=160$  m) koje su upoređene sa merenim referentnim vrednostima i



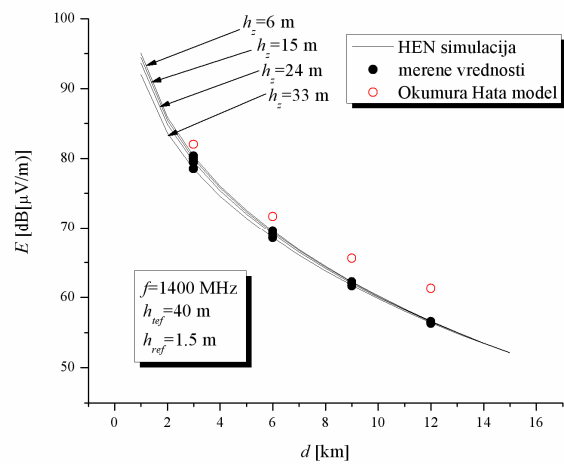
Sl. 2. Zavisnost jačine električnog polja od rastojanja  $d$  za različite vrednosti frekvencije  $f$



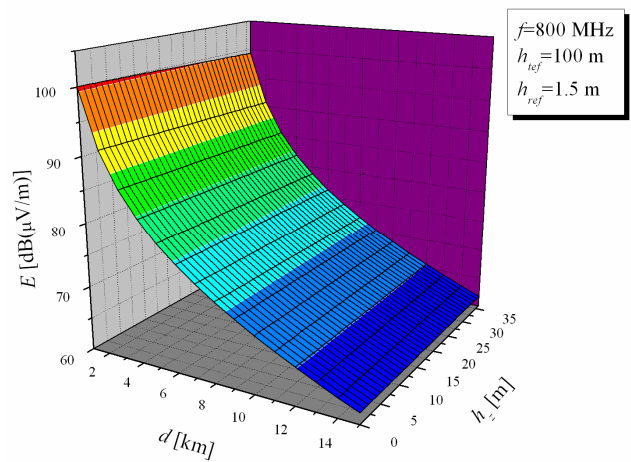
Sl. 3. Zavisnost jačine električnog polja od rastojanja  $d$  za različite vrednosti efektivne visine predajnika  $h_{tef}$

vrednostima dobijenim Okamura-Hata modelom. Takođe, na Sl. 4. prikazuje krive zavisnosti jačine električnog polja od rastojanja  $d$  za različite vrednosti visine zgrade okoline  $h_z$  ( $h_z=6$  m,  $h_z=15$  m,  $h_z=24$  m i  $h_z=33$  m) i poređenje ovih krivih sa merenim referentnim vrednostima vrednostima dobijenim Okamura-Hata modelom..

Sl. 5. predstavlja trodimenzionalni prikaz jačine električnog polja u u zavisnosti od  $h_{tef}$  i  $d$  parametra dobijen HEN modelom. Za generisanje ove površi u 555 tačaka HEN modelu je bilo potrebno oko jedne sekunde. Ako bi se ova površ generisala direktnim merenjima na terenu potrebno je izvršiti složena merenje na velikom broju različitih lokacija što bi zahteva dosta inženjerskog vremena. Velika simulaciona brzina HEN modela proizilazi iz činjenice da i empirijski nosilac znanja i neuronska arhitektura omogućavaju veliku brzinu prostiranja signala sa ulaza na izlaz njihove arhitekture.



Sl. 4. Zavisnost jačine električnog polja od rastojanja  $d$  za različite vrednosti prosečnih visina zgrade okoline  $h_z$



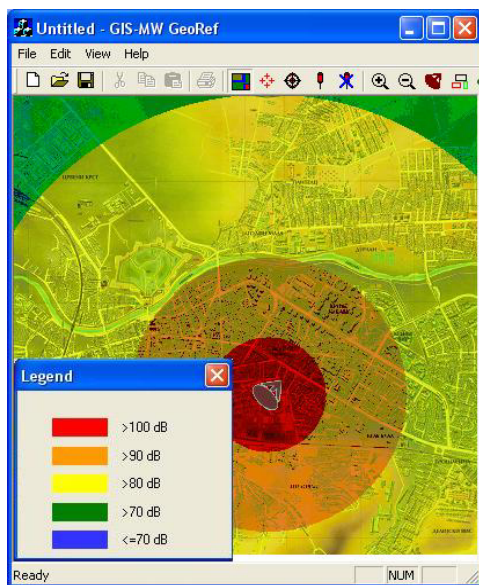
Sl.5. Zavisnost jačine električnog polja od rastojanja  $d$  i visine zgrade okoline  $h_z$

#### V. GIS-MW GEOREF

*GIS-MW GeoRef* softverski modul za upravljanje georeferenciranim sistemom geografskih karata je razvijen u laboratoriji za mikrotalasnu tehniku i satelitsku televiziju Elektronskog fakulteta u Nišu [8]. Ovaj modul koristi bazu dvodimenzionalnih rasterskih slika (tj. bitmapiranih

podloga) pomoću koje formira sistem jedinstvene elektronske karte sa odgovarajućim interfejsom za osnovne operacije koje se na dobijenoj podlozi mogu izvoditi: manuelno (fino) skrolovanje kroz georeferencirani prostor, određivanje precizne pozicije izabrane geografske tačke, učitavanje pozicije unošenjem odgovarajuće geografske širine, itd. Pomenute osnovne funkcije se koriste za prikaz rezultata predikcije nivoa električnog polja korišćenjem modela HEN4-22-22.

Na početku rada sa *GIS-MW GeoRef* softverskim modulom je potrebno uneti radnu frekvenciju i visinu antene predajnika za koju se vrši predikcija jačine električnog polja. Zatim se unosi prosečna visina objekata koji dominiraju u prostoru kroz koji dolazi do prostiranja EM talasa. Izlaz iz HEN modela HEN4-22-22 se prikazuje na georeferenciranoj karti (Sl. 6).



Sl. 6. Rezultat predikcija nivoa električnog polja pomoću HEN modela

## VI. ZAKLJUČAK

Da bi se izvršila efikasna analiza rada predajnika u savremenim radiodifuznim sistemima potrebno je izvršiti što je moguće precizniju predikciju nivoa električnog polja. Neuronski pristup u modelovanju prostiranja EM talasa kroz urbanu sredinu može da bude dobra alternative dosadašnjim empirijskim i poluempirijskim modelima koji su zasnovani na suviše grubim aproksimacijama i koji ne uzimaju u obzir u dovoljnoj meri specifičnosti urbane oblasti kroz koju se signal prostire. U slučajevima kada je prikupljanje veće količine podataka za obuku vremenski zahtevan proces ili ukoliko se ne može postići zadovoljavajuću tačnost klasičnog neuronskog modela sa trenutno raspoloživim skupom podataka za obuku modela, predlaže se korišćenje HEN model koji koristi postojeće znanja o problemu koji se modeluje. Postupak razvoja izloženog HEN modela u kome je obuka modela izvršena na korigovanim merenim vrednostima iz ITU preporuke je nezavistan od korišćenog skupa za obuku, tako da se na istovetan način može koristiti i na skupu koga čine realne merene vrednosti u propagacionim oblastima naših prostora, što je i krajnji cilj ovih istraživanja. Efikasan način rukovanja prostornom komponentom u procesu

predikcije jačine električnog polja predloženim HEN modelom može se postići tako što se rezultati predikcije kombinuju sa prostorno-geografskim podacima odgovarajućeg GIS sistema (u ovom radu specijalizog *GIS-MW GeoRef* softvera). Time se može dobiti jedan moćan geografski informacioni sistem koji može u većoj meri da podrži dalje povećanje efikasnosti i smanjenje cene projektovanja i analize rada savremenih radiodifuznih i mobilnih sistema.

## LITERATURA

- [1] S. Haykin, *Neural Networks*, New York, IEEE, 1994
- [2] J. Hertz, A. Krogh and R. Palmer, *Introduction to the Theory of Neural Computation*, Addison-Wesley, 1991.
- [3] Bratislav Milovanović, Zoran Stanković, Aleksandar Stošić "Prediction of the Electromagnetic Field Strength Level using Neural Model", TELSIS 2003 Conference Proceedings, Niš 2003, pp.457-46.
- [4] Zoran Stanković, Bratislav Milovanović, Anđelija Đorđević, Maja Sarevska, "Electromagnetic Field Strength Level Prediction by Neural Model-Application to Broadcasting" ICEST 2004 Conference Proceedings, Bitola 2004.
- [5] Zoran Stanković, Bratislav Milovanović, Marija Veljković, Anđelija Đorđević, "The Hybrid Empirical Model for the Electromagnetic Field Level Prediction in Urban Environments" NEUREL 2004 Conference Proceedings, Beograd 2004.
- [6] Bratislav Milovanović, Zoran Stanković, Marija Milijić, "Neuronski modeli za predikciju nivoa elektromagnetnog polja u urbanoj sredini", TELFOR 2005 Conference, Beograd, Srbija and Crna Gora, November 22.-24., 2005.
- [7] Bratislav Milovanović, Zoran Stanković, Marija Milijić, "Efficient Electromagnetic Field Level Prediction using Neural Models ", Emerging Technologies, Robotics and Control Systems, International Society For Advanced Research, 2007, Italy, pp. 89-95.
- [8] Bratislav Milovanović, Zoran Stanković, Marija Milijić, "Predikcija nivoa elektromagnetnog polja korišćenjem neuronskog modela zasnovanog na ITU-R P.1546 preporuci", ETRAN 2007 Conference, Igalo, Crna Gora, June 5.-8., 2007.
- [9] Bratislav Milovanović, Zoran Stanković, Marija Milijić, Maja Sarevska, "Near-Earth Propagation Loss Prediction in Open Rural Environment using Hybrid Empirical Neural Model ", TELSIS 2007 Conference Proceedings, Niš 2007, pp. .
- [10] J.S. Seybold, *Introduction to Rf propagation*, John Wiley & Sons, Inc., 1958
- [11] Lal Chand Godara *Handbook of Antennas in Wireless Communications*, CRC Press, 2002.
- [12] Tapan K. Sarkar, Michael C. Wicks, Magdalena Salazar-Palma, Robert J. Bonneau, *Smart Antennas*, IEEE Press, A John Wiley & Sons.
- [13] Recommendation ITU-R P. 1546

## ABSTRACT

New hybrid empirical neural (HEN) model based on Okamura-Hata model for prediction EM field level of RF transmitter in frequency range 150-1500 MHz in urban environment is presented in this paper. Okamura-Hata model, which has been very often used, does not consider all influences of environment that signal goes throughout. Therefore, the results obtained by this model can disagree with the measured results. Considering Okamura-Hata model as holder of approximate empirical knowledge about EM propagation in urban environment and connecting it with the artificial neural network, the HEN model, whose estimated results are more closed to measured results than Okamura-Hata results, was realized in this paper. The results obtained by HEN model are presented by using GIS-MW GeoRef software module.

## MODELING EM PROPAGATION IN URBAN ENVIRONMENT USING HYBRID EMPIRICAL-NEURAL APPROACH

Marija Milijić, Bratislav Milovanović, Zoran Stanković