

## Procena štetnog uticaja RF polja u okolini antenskog sklopa digitalnog radio modema

Saša D. Milić<sup>1</sup>, Ljubiša S. Čičkarić<sup>2</sup>, Branislav D. Vulević<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Koste Glavinića 8a, 11000 Beograd, Srbija

[s-milic@ieent.org](mailto:s-milic@ieent.org)

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Koste Glavinića 8a, 11000 Beograd, Srbija

[ljubisa.cickaric@ieent.org](mailto:ljubisa.cickaric@ieent.org)

<sup>3</sup> Akreditaciono telo Srbije, Vlajkovićeve 3, 11000 Beograd, Srbija

[banevul@gmail.com](mailto:banevul@gmail.com)

**Kratak sadržaj:** Rad ukazuje na potrebu ispitivanja nivoa električnog polja visokih učestanosti u okolini antenskog sklopa digitalnog radio modema sa stanovišta uticaja na ljudski organizam. Pomenuti modem je sastavni komunikacioni deo prenosivog test sistema, koji služi za podešavanje podataka i daljinsku bežičnu razmenu podataka sa složenim višeparametarskim daljinskim nadzornim sistemom u železnici. Ispitivanje nivoa električnog polja je od posebnog značaja ukoliko se uzme u obzir kratko rastojanje operatora i antenskog sklopa prenosivog test sistema, kao i programabilne snage (1W - 10W) izlaznog stepena digitalnog modema, koji je njegov sastavni deo. Rezultati rada pokazuju niz izmerenih vrednosti jačine električnog polja učestanosti 450,5 MHz i ocenu njihovog uticaja na operatora pri različitim režimima rada modema na osnovu važećeg Pravilnika u domenu zaštite stanovništva i važeće EU direktive u domenu zaštite profesionalnih lica od nejonizujućih zračenja.

**Ključne reči:** višeparametarski sistem daljinskog nadzora, digitalni radio modem; nejonizujuća zračenja, jačina električnog polja, visoke učestanosti, izlaganje ljudi.

## 1. Uvod

Usled svakodnevnog rasta i širenja telekomunikacionih sistema (javne mobilne telefonije, TV predajnika, GPS i GPSR sistema, bežičnog interneta i dr.) raste i zabrinutost, kako građana, tako i profesionalnih korisnika, koja posledično uslovljava različita istraživanja i ispitivanja potencijalno neželjenih efekata na ljudski organizam [1].

U cilju procene izloženosti, kako stanovništva tako i profesionalnih operatera, poznavanje nivoa RF polja u blizini izvora, koji ih generišu, je od izuzetne važnosti. Veoma često, merenja predstavljaju osnovu za procenu nivoa elektromagnetskih polja na terenu kada je svaka vrsta proračuna i simulacija otežana prisustvom većeg broja izvora, radnim uslovima, a samim tim i kompleksnom raspodelom polja [2].

Zahvaljujući ubrzanom razvoju novih tehnologija, mernih uređaja i njihovog povezivanja u merne sisteme, prve dve dekade XXI veka karakteriše pojava različitih pristupa merenjima u oblasti RF zračenja. Osnovni evropski standard koji daje smernice za merenja i proračun elektromagnetskih polja (0Hz – 300 GHz) jeste standard CENELEC EN 50413 [3].

Rezultati merenja jačine električnog polja koje emituje antenski sklop digitalnog radio modema i njihov uticaj na ljudski organizam, su ocenjeni na dva načina:

1. Sa stanovišta izloženosti stanovništva na osnovu Pravilnika Republike Srbije [4];
2. Sa stanovišta izloženosti profesionalnih lica na osnovu Direktive EU [5].

Iako je u radu akcenat stavljen na opremu koja se koristi od strane profesionalnih operatera, ocene uticaja nejonizujućeg zračenja na ljudski organizam su izvršene na dva načina da bi se pokazala razlika koja postoji u metodologiji procene izloženosti ljudi kada je u pitanju stanovništvo i kada su u pitanju profesionalna lica – operatori.

## 2. Tehnički aspekt mernog sistema i prenosivog telekomunikacionog podsistema

Posebnu grupu izvora elektromagnetskog zračenja predstavljaju specijalizovani telekomunikacioni uređaji koji se koriste u industrijske i vojne svrhe. Pomenuti telekomunikacioni uređaji su po pravilu delovi složenih višeparameterskih sistema daljinskog nadzora [6]-[11]. U cilju obezbeđivanja njihove samostalnosti rada, preporučeno je koristiti telekomunikacione UKT digitalne radio modeme u cilju nesmetanog i nezavisnog prenosa podataka i

na taj način izbeći satelitske sisteme ili sisteme poput GPRS-a koji zavise od brojnih operatera i sl. Digitalni radio modemi [12], [13], koji prenose podatke kao klasične UKT radio stanice, predstavljaju adekvatno rešenje koje ispunjava neophodne zahteve za samostalnošću i nezavisnošću pri prenosu podataka. Čest je slučaj umrežavanja radio modema sa ciljem pokrivanja više mernih pozicija u slučajevima distribuiranih mernih sistema [14].

Industrijski digitalni radio modemi su namenjeni za rad u teškim industrijskim uslovima (velike vibracije, velike promene temperatura, prljava atmosfera, velike elektromagnetske smetnje....), zato ih odlikuje velika robusnost, pakovani su u kompaktna livena kućišta, imaju proširene radne temperaturne opsege i dr. Jedan od takvih modema (Guardian 400 wireless modem) je predmet ispitivanja ovog rada, jer je upotrebljen u daljinskom nadzornom sistemu koji je instaliran na železnici termoelektrane Nikola Tesla u Obrenovcu u Srbiji.

Pomenuti složeni višeparametarski daljinski nadzorni sistem služi za blagovremeno otkrivanje i alarmiranje neispravnosti (pregrejanosti) ležajeva kao delova osovinskih sklopova teretnih kola koja služe u železničkom transportu za prevoz uglja u termoelektrani Nikola Tesla u Srbiji. Sistem spada u kategoriju *stand-alone* tipa što podrazumeva potpunu automatizaciju i samostalnost u radu bez potrebe za operatorom i bez ikakvih uticaja drugih sistema. Da bi se postigla potpuna funkcionalnost ovog tipa, bilo je potrebno, između ostalog, obezbediti automatski prenos izmerenih podataka i drugih neophodnih informacija između mernih, kontrolnih i upravljačkih delova sistema koji su prostorno distribuirani na udaljenim lokacijama sa samostalnim komunikacionim protokolima, sa što je moguće manjim transportnim kašnjenjima podataka i nezavisnim servisima. Sve nabrojano podrazumeva da je primena standardnih prenosa podataka pomoću GPRS i mobilnih operatera neadekvatna.

Komunikacija između pojedinih delova sistema, na svakom od mernih mesta, je ostvarena digitalnim UKT modemima (prenos podataka sa mernog mesta pored pruge do otparnika vozova), dok je komunikacija između pojedinih mernih mesta (TENT-A, TENT-B, Vreoci, serversko mesto u upravnoj zgradi ŽT) ostvarena optičkom računarskom mrežom. Serversko mesto čini računar-server sa implementiranom bazom podataka i softverima za praćenje procesa merenja i korisničkim interfejsom. Prenos podataka upotrebom digitalnih radio modema po principu tačka-tačka (*point-to-point*) je primenjen za prenos podataka sa mernog na alarmno mesto u okviru svakog pojedinačnog mernog sistema. Prednost ovakvog prenosa se ogleda u potpunoj samostalnosti prenosa podataka, odnosno, komunikacioni sistemi (radio modemi) rade autonomno i nezavisno od provajdera. Bežične komunikacione mreže realizovane pomoću ovakvih radio modema ne zahtevaju nikakve posebne servisne usluge, osim primarnog održavanja ispravnosti i pravilne podešenosti prijemnih i predajnih frekvencija i snaga. Opsezi radnih frekvencija ovih radio modema se kreću od 410MHz do

470MHz. U konkretnoj aplikaciji je upotrebljen Guardian 400 wireless modem [13] (Slika 1).



Slika 1. Guardian 400 wireless modem

Osnovne karakteristike radio modema Guardian 400:

- Model: Guardian 400
- Frekventni opseg: UHF (406 - 470)MHz
- Podesiva snaga: (1 – 10) W
- Antenski sklop – mobilna antena

Za potrebe terenskog podešavanja i praćenja rada ovako složenog nadzornog sistema, bilo je potrebno razviti pomoćni prenosivi test sistem (Slika 2) pomoću kojeg bi se olakšalo podešavanje radnih parametara i provera mernih rezultata u fazama umeravanja, testiranja i verifikacije pojedinih delova sistema.

Težište ovog rada je stavljeno na ispitivanje uticaja RF zračenja antenskog sklopa digitalnog radio modema, kao sastavnog dela prenosivog test sistem, na operatora. Test sistem čine prenosni računar sa odgovarajućim programskim paketom razvijenim za testiranje pojedinih delova nadzornog sistema, digitalni radio modem Guardian 400, antenski sklop sa prilagođenom impedansom i napajanje (Slika 2).



Slika 2. Prenosivi test sistem

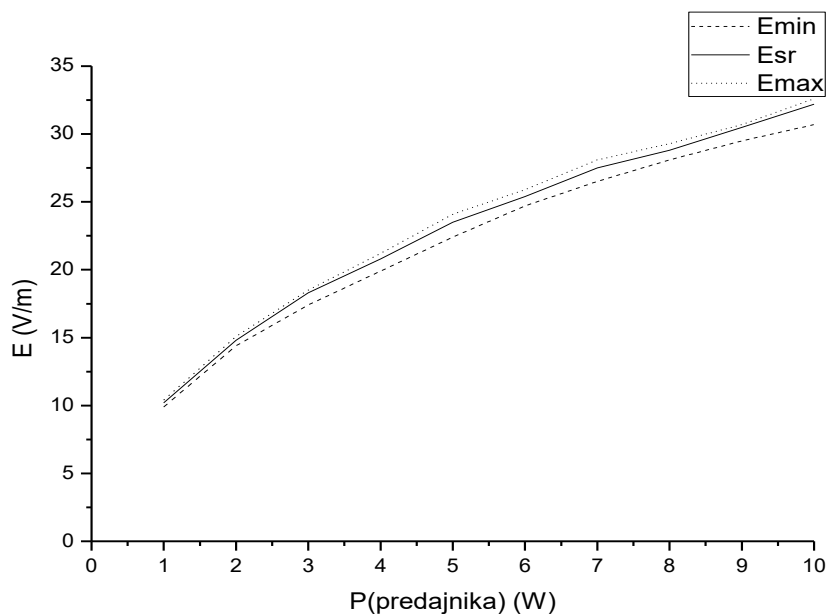
### 3. Rezultati ispitivanja električnog polja

Merenja efektivne vrednosti jačine električnog polja  $E$  u okolini antenskog sklopa test sistema su izvršena u laboratorijskim uslovima pomoću instrumenta NBM-550 (Slika 3).



Slika 3. NBM-550 - instrument za merenje električnog polja  $E$  sa izotropnom sondom (Probe EF 0691, 100 kHz – 6 GHz).

Merna sonda je bila stacionirana na 0,35m od antenskog sklopa jer je, grubom procenom, toliko rastojanje glave operatora od antene. Merenja su vršena sa različitim izlaznim snagama radio modema od 1W do 10W, na učestanosti od 450MHz (Slika 4 i Tabela 1).



Slika 4. Rezultati merenja jačine električnog polja antenskog sklopa digitalnog radiomodema koji se nalazi u sastavu prenosivog test sistema

Tabela 1. Numerički rezultati merenja jačine električnog polja antenskog sklopa

Snaga predajnika (W)	E <sub>izmereno</sub> (V/m)		
	min	srednje	max
1	9,9	10,2	10,4
2	14,4	14,8	15,1
3	17,4	18,3	18,5
4	19,9	20,8	21,2
5	22,4	23,5	24,1
6	24,7	25,4	25,9
7	26,5	27,5	28,1
8	28,1	28,8	29,3
9	29,5	30,5	30,7
10	30,7	32,2	32,6

#### 4. Procena uticaja RF polja mobilnog test sistema

Primena test sistema treba da pomogne u odgovoru na pitanje kolika je ugroženost rukovaoca (operatora) u toku korišćenja, tj. rada digitalnog radio modema, s obzirom na blizinu njegove primopredajne mobilne antene i moguće (podesive) relativno velike predajne snage na definisanim učestanostima.

S obzirom na mogućnost govorne komunikacije i programiranja frekvencije i snage, pojedini digitalni radio modemi se mogu koristiti, kako u profesionalne svrhe, tako i u amaterske kao radio-amaterske stanice (primenjeni radio modem poseduje navedene karakteristike). Iz tog razloga je u ovom radu vršena analiza uticaja potencijalnih štetnosti elektromagnetskih polja RF opsega, kako na stanovništvo, tako i na operatore kao profesionalna lica. U oba slučaja je, u ovom radu, polazište proračuna radio modem Guardian 400, koji predstavlja izvor RF zračenja u opsegu od 400 MHz do 2000 MHz, za vreme izlaganja od 6 minuta.

#### 4.1. Procena uticaja RF polja prema graničnim vrednostima za stanovništvo

Procena izloženosti stanovništva je doneta na osnovu graničnih vrednosti koja su propisna Pravilnikom [4] i prikazana su u Tabeli 2.

Proračun granične efektivne vrednosti jačine električnog polja kojem su izloženi građani se vrši prema (1) iz Tabele 2.

$$E \left[ \frac{V}{m} \right] \leq 0,55 \cdot \sqrt{f [MHz]} \quad (1)$$

Tabela 2. Referentni granični nivoi - stanovništvo

Frekvencija $f$	Jačina električnog polja $E$ [V/m]	Vreme uprosečenja $t$ [min]
< 1 Hz	5600	-
1 – 8 Hz	4000	-
8 – 25 Hz	4000	-
0,025 – 0,8 kHz	100/ $f$	-
0,8 kHz – 3 kHz	100/ $f$	-
3 – 100 kHz	34,8	-
100 – 150 kHz	34,8	6
0,15 – 1 MHz	34,8	6
1 – 10 MHz	34,8/ $f^{1/2}$	6
10 – 400 MHz	11,2	6
0,4 – 2 GHz	0,55 · $f^{1/2}$	6
2 – 10 GHz	24,4	6
10 – 300 GHz	24,4	68/ $f^{1,05}$

Iz (1) proizilazi da je dozvoljena granična vrednost električnog polja na rastojanju od 0,35 m od predajne antene  $E = 11,7$  V/m. Ovaj rezultat nam ukazuje na činjenicu da nije poželjno raditi sa predajnim snagama radio modema većim od 1W na datom rastojanju od 0,35 m, kada se radio modem koristi u amaterske svrhe u tehničkom okruženju poput prikazanog test sistema. Za veće snage je potrebno udaljiti primopredajnu antenu od korisnika, ali je u tom slučaju potrebno ponoviti opisanu proceduru merenja i

proračuna za novoizabrano rastojanje, ili primeniti metodologiju procene uticaja električnog polja opisanu u [1].

#### 4.2. Procena uticaja RF polja prema graničnim vrednostima za profesionalna lica - operatore

Procena izloženosti profesionalnih lica - operatora je doneta na osnovu graničnih vrednosti propisanih Direktivom EU [5] i datih u Tabeli 3.

Proračun granične efektivne vrednosti električnog polja kojem su izloženi profesionalni operatori se vrši prema (2) iz Tabele 3.

$$E \left[ \frac{V}{m} \right] \leq 3 \cdot \sqrt{f [MHz]} \quad (2)$$

Tabela 3. Referentni granični nivoi – profesionalna lica

Frekvencija $f$	Jačina električnog polja $E [V/m]$	Vreme uprosečenja $t [min]$
0,1 – 1 MHz	$6,1 \cdot 10^2$	-
1 – 10 MHz	$6,1 \cdot 10^8 / f$	-
10 – 400 MHz	61	-
0,4 – 2 GHz	$3 \cdot 10^{-3} \cdot f^{1/2}$	-
2 – 6 GHz	$1,4 \cdot 10^2$	-
6 – 10 GHz	$1,4 \cdot 10^2$	6
10 – 300 GHz	$1,4 \cdot 10^2$	$68 / f^{1,05}$

Iz (2) proizilazi da je dozvoljena granična vrednost  $E = 63,7 V/m$ . Ovaj rezultat nam ukazuje na činjenicu da nema ograničenja za profesionalne korisnike kada je u pitanju programiranje bilo koje željene predajne snage radio modema Guardian 400 u rasponu od 1 W do 10 W na datom rastojanju od 0,35 m.

## 5. Zaključak

Često se zanemaruju neželjeni efekti RF polja koje emituju profesionalni uređaji i sistemi, jer se ne obraća mnogo pažnja na potencijalnu ugroženost operatora.



Ovaj rad predstavlja jedan takav slučaj u kome su uzeti u obzir neželjeni uticaji RF polja na zdravlje, kako profesionalnog operatora, tako i amaterskog korisnika, sa ciljem ocene uticaja izmerenih RF polja i davanja preporuka koja se odnose na ograničenja predajne snage digitalnog radio modema ili udaljavanja prenosive (mobilne) primopredajne antene.

Na osnovu prikazanih rezultata merenja i EU direktive [5] i u slučaju da je korisnik profesionalni operator, nije ograničena upotreba modema u svim režimima predajne snage od 1 W do 10 W.

U slučaju kada je korisnik neprofesionalno lice, na osnovu rezultata merenja i navedenih graničnih vrednosti datih u Pravilniku [4], preporuka je da je za navedeno kratko rastojanje između antenskog sklopa i operatora potrebno voditi računa da snaga predajnika ne bude veća od 1 W. Za slučaj kada se zahteva veća predajna snaga, ovaj rad daje smernice kako treba izračunati efektivnu vrednost električnog polja RF zračenja pri udaljavanju antenskog sklopa i kako donositi zaključke na osnovu propisanih graničnih vrednosti.

Smer daljih istraživanja se kreće prema ispitivanjima nivoa električnog polja pri različitim režimima rada test sistema sa skupom različitih antenskih sklopova i različitim nivoima predajne snage.

Ideja budućih istraživanja je da se odredi kompletna slika sa stanovišta neželjenih uticaja RF polja, kako na profesionalne operatore, tako i na stanovništvo i da se predlože bezbedna rastojanja u funkciji potrebnih snaga izlaznog stepena digitalnog radio modema.

## Zahvalnica

Rad je nastao u okviru projekta TR 33024, „Povećanje energetske efikasnosti, pouzdanosti i raspoloživosti elektrana EPS-a utvrđivanjem pogonskih dijagrama generatora i primenom novih metoda ispitivanja i daljinskog nadzora”, koji je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

## Literatura

- [1] S. D. Milić, B. D. Vulević, Dj. M. Stojić: "A Fuzzy-Measurement Algorithm for Assessing the Impact of Electromagnetic Fields on Health", *Nuclear Technology and Radiation Protection*, vol. 34, no. 2, pp. 129-137, 2019.
- [2] B. D. Vulević, P. J. Osmokrović, "Evaluation of Uncertainty in the Measurement of Environmental Electromagnetic Fields", *Radiation Protection Dosimetry*, vol.141, no.2, pp.173–177, 2010.

- [3] European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), "Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0Hz - 300GHz)", CENELEC EN 50413, 2008.
- [4] Pravilnik Ministarstva životne sredine i prostornog planiranja Republike Srbije, "Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima", Službeni glasnik RS, broj 36/09, 2009.
- [5] Directive 2013/35/EU of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)
- [6] S. Milić, M. Srećković: "A stationary System of Non-contact Temperature Measurement and Hot Box Detecting", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, no. 5, 2008, pp. 2684-2694, 2008.
- [7] S. Milić, A. Žigić, M. Ponjavić: "On-line Temperature Monitoring, Fault Detection and a Novel Heat Run Test of Water-Cooled Rotor of Hydrogenerator", *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 28, no. 3, pp. 698-706, 2013.
- [8] D. Misović, S. Milić, Ž. Đurović: "Vessel Detection Algorithm Used in a Laser Monitoring System of the Lock Gate Zone", *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 17, no. 2, pp. 430-440, 2016.
- [9] B. M. Babić, S. D. Milić, A. Ž. Rakić: "Fault Detection Algorithm Used in a Magnetic Monitoring System of the Hydrogenerator", *IET Electric Power Applications*, vol. 11, no. 1, 26, pp. 63-71, 2017.
- [10] S. Milić, N. Miladinović, J. Marković-Petrović: "Računarsko-merni komunikacioni sistemi u daljinskom nadzoru i dijagnostici", *CIGRE - Srbija 30. savetovanje, Zbornik radova R D2 - 12*, Zlatibor, Srbija, 29. maj - 03. jun 2011.
- [11] S. Milić, D. Misović, N. Miladinović, A. Žigić: "IT koncepcija sistema za detekciju kvara železničkih vagona ", *CIGRE – Srbija, 17. Simpozijum - Upravljanje i telekomunikacije u elektroenergetskom sistemu - STK C2 i D2, Zbornik radova R D2 11*, Vršac, Srbija, 16. oktobar - 19. oktobar 2016, strane: 1-8.
- [12] Dataradio COR Ltd., "Synthesized T-96SR HI Spec Wireless Modem", Dataradio, Inc. October 2001.
- [13] CalAmp, "User Manual Guardian™ Serial Modem", CalAmp, PN 001-5006-000, Rev. 3, April 2013.
- [14] S. Milić, D. Kovačević, A. Žigić, D. Misović: "Bežični merni sistem za daljinsko merenje temperature osovinskih ležajeva teretnih kola", *28. savetovanje JUKO-CIGRE, Zbornik radova R B4-08*, Vrnjačka Banja, Srbija, 30. septembar–05. oktobar 2007.

**Abstract.** The paper points to the necessity of measuring the electric field in the vicinity of the antenna of digital radio modem and its influence on the human organism. The modem is an integral communication part of the portable test system, which is used to set the system parameters and for wireless data gathering and data exchange with main monitoring system in the rail. The need for measuring of the electric RF field was due to the necessity of assessing its impact on the operator considering the short distance between the operator and antenna of the portable test system. Impact assessment was carried out on the basis of Regulations in the Republic of Serbia (safety requirements regarding the exposure of citizens) and on the basis of EU Directive (safety requirements regarding the exposure of workers).

**Keywords:** remote monitoring system, digital radio modem, non-ionizing radiation, electric field strength, high frequency, human exposure.

## **Assessment of Harmful Effects of RF Fields in the Vicinity of the Antenna of Digital Radio Modem**

Saša D. Milić, Ljubiša S. Čičkarić, Branislav D. Vulević

Rad primljen u uredništvo: 27.10.2019. godine.

Rad prihvaćen: 28.11.2019. godine.

