

MERENJE KVALITETA DVB-T SIGNALA U STACIONARNOM I MOBILNOM PRIJEMNOM REŽIMU

MEASURING OF DVB-T SIGNAL REQUIREMENTS IN STATIONARY AND MOBILE RECEPTION MODE

Vesna Milutinović, *Republička Agencija za telekomunikacije*
Bratislav Milovanović, *Elektronski fakultet u Nišu*
Dušan Jokanović, *Republička Agencija za telekomunikacije*

Sadržaj - U radu će biti predstavljen značaj ocene kvaliteta DVB-T signala u procesu tranzicije sa analognog na digitalno emitovanje TV signala. Prikazan je osnovni koncept i na primeru digitalnog signala RTS-a, dati su rezultati merenja najvažnijih parametara u procesu monitoringa digitalnog radiodifuznog signala u stacionarnom i mobilnom prijemnom režimu.

Abstract - In this paper, the importance of quality evaluation of DVB-T signal in process of transition from analogue to digital TV broadcasting is presented. The basic concept and the example of digital RTS signal, measurement results of most important parameters in process of digital broadcasting signal monitoring in stationary and mobile reception mode are shown.

1. UVOD

Digitalna televizija, pored TV programa, obezbeđuje i upotrebu pratećih servisa na TV prijemnicima (fiksni prijem) sa spoljašnjom individualnom ili zajedničkom antenom, portabl prijemnicima (zatvoreni i otvoreni prostor) i mobilnim prijemnicima. DVB-T (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial*) predstavlja standard za prenos zemaljskog digitalnog video signala (ETSI EN 300 744). DVB-T sistem predviđa različite modove rada, kao što su stacionarni, portabl i mobilni prijem u zavisnosti od primenjene modulacije i kodnog količnika [1].

Kako zauzetost frekvencijskog spektra zavisi od bitskog protoka, potrebno ga je smanjiti, pa se vrši redukcija, odnosno *kompresija* signala korišćenjem više metoda. Najšire primenjivan standard za kompresiju u digitalnoj televiziji je MPEG-2 nakon koga se pojavio MPEG-4 (verzija 10), odnosno H.264/AVC koji je usvojen u Republici Srbiji kao kompresioni standard. Dodato je nekoliko poboljšanja koja se ogledaju u novim načinima kodiranja i smanjivanju bitskog protoka bez degradacije kvaliteta slike. Nakon kompresije signala sledi *multipleksiranje* koje se ogleda u formiranju paketa odgovarajuće dužine koji formiraju transportni niz.

Da bi se omogućila mogućnost korekcije greške u TV prijemniku vrši se *kanalno kodiranje* (*Channel Coding*) koje se sastoji u namernom uvođenju redundantnosti (višak podataka) u koristan signal. Kodni količnik predstavlja odnos količine informacija sa redundantnim i korisnim podacima. *Mapiranje* je postupak kojim se određuju položaji svih moduliranih nosilaca podataka jednog OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) rama u I-Q konstelacionoj ravni. Konstelaciona tačka je kompleksni modulacioni broj. Generalno, modulacione šeme m-PSK (Phase Shift Keying) i m-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) mogu biti

uniformne gde je razmak između tačaka u konstelacionoj (I-Q) ravni uvek isti ili neuniformne, gde se razlikuje. Nakon modulacione tehnike sa više nosilaca (OFDM), inverzne Furijeove transformacije (IFFT), paralelno serijske konverzije i ubacivanja zaštitnog intervala, vrši se D/A konverzija i dobijaju se spektralno multipleksirani kontinualni signali.

Na prijemnom delu zaštitni interval se uklanja pre razdvajanja nosilaca tako da se sva intersimbolska intererencija (ISI) od prethodnog simbola nalazi unutar zaštitnog intervala, tako da na izlazu nemamo uticaj ISI. Tokom trajanja ovog intervala prijemnik je neaktivan kako bi se eliminisao prijem reflektovanih signala. Konstelacionim dijagramom se definiše položaj konstelacionih tačaka u I-Q ravni. Svaka tačka u konstelacionom dijagramu može odstupati za određeni iznos od idealnog položaja tako da se merenjem modulacione greške (MER - Modulation Error Ratio) na prijemu vrši analiza kvaliteta DVB-T signala. Za MER koji je manji od 24 dB bitska greška (BER - Bit Error Rate) naglo raste pri čemu dolazi do drastičnog povećanja broja grešaka u prijemu.

Strategijom za prelazak sa analognog na digitalno emitovanje radio i TV programa koju je usvojila Vlada Republike Srbije predviđeno je da se 04. 04. 2012. obustavi emitovanje analognog TV programa (*Analogue Switch-Off*). Nova verzija DVB-T standarda - DVB-T2, koja je prihvaćena u Srbiji kao standard za emitovanje, uvodi nove šeme modulacije signala i odgovarajuće modove rada. U Srbiji je javni servis RTS, preko svoja dva DVB-T predajnika koji pokrivaju područje Beograda i Novog Sada (Avala - 27. UHF kanal i Iriški venac - 31. UHF kanal), počeo sa eksperimentalnim emitovanjem digitalnog TV signala 26. novembra 2008. godine. Vršena su i druga eksperimentalna emitovanja na naučno stručnim konferencijama, kao što su

TELSIKS 2009 [2] gde je realizovan testni DVB-T multipleks i TELFOR 2009 [3] na kome je izvršena demonstracija DVB-T2 signala. Takođe, obavljena su merenja kvaliteta DVB-T signala u stacionarnom prijemnom režimu usmerenom prijemnom antenom [4].

2. MERENJE KVALITETA DVB-T SIGNALA U STACIONARNOM REŽIMU

Značaj ocene kvaliteta se ogleda u merenjima određenih parametara signala čime se utvrđuje da li su određene performanse sistema zadovoljene, kao i u merenju pokrivenosti određene oblasti signalom za fiksni ili mobilni prijem DVB-T servisa [5,6]. U skladu sa preporukom ITU-a (*Recommendation ITU-R SM.1682*) najvažniji parametri koji se mere prilikom vršenja monitoringa digitalnih radiodifuznih signala su: frekvencija i širina opsega, snaga i jačina polja, određivanje identifikacije predajnika i tipa servisa, kvalitet slike i zvuka, kvalitet predajnog signala, pokrivenost, karakteristike RF kanala i drugi tehnički parametri [6,7].

Merenje digitalnog radiodifuznog signala na 27. UHF kanalu ($f = 522\text{MHz}$) koji se emituje sa Avale izvršeno je na lokaciji Avala u stacionarnom režimu mernim uređajem R&S ETL i antenom R&S HE 500 postavljenom na krovu vozila koja je pogodna za omnidirekcionni prijem i vertikalnu polarizaciju [8].

Merenja na analizatoru spektra R&S ETL su podešena za jednofrekvencijska merenja DVB-T signala. Merenja se odnose na: spektralna merenja, opšti pregled, merenja konstelacionog dijagrama (analiza modulacije), merenja simbola odziva (analiza kanala), merenja amplitude, faze i grupnog kašnjenja (analiza kanala) za stacionarni prijem, dok je prilikom vršenja merenja u pokretu, odnosno u mobilnom prijemu DVB-T signala, meren samo parametar koji se odnosi na nivo jačine polja i to korišćenjem neusmerene antene. To je parametar koji će ostati isti i u uslovima stacionarnog i mobilnog prijema.

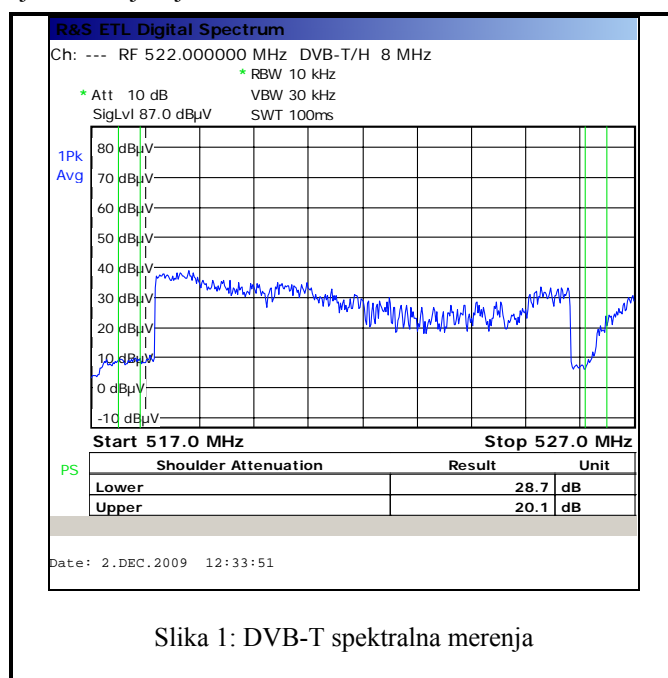
Svi primeri merenja su izvedeni u *TV Analyzer/Receiver* modu, dok je R&S ETL podešen za većinu merenja prema *Auto/TPS* detekciji i to prema sledećim parametrima: Centralna frekvencija = 522 MHz, Standard za prenos = DVB-T/H, Širina kanala = 8 MHz, FFT mod = 8K.

Merenje spektra daje pregled aktivnog mernog kanala. Ulazni signal i vrednosti slabljenja ivica za više i niže krajeve opsega prikazani su na slici 1. DVB-T predajnici sadrže linearne pojačavače i korekcionni nivo u modulatoru. Međutim, neke nelinearnosti ostaju i uzrokuju intermodulacione produkte koji predstavljaju „beli šum“ u kanalu i duž krajeva signala koji se nazivaju ivice DVB-T signala.

Na slici 1 se može videti da se radi o Rejljevom kanalu, odnosno da od predajnika do prijemnika stižu samo reflektovani signali zato što je frekvencijska karakteristika prilično neravna. U idealnom slučaju, do prijemne antene stiže samo jedan signal, tako da se svi nosioci mogu posmatrati kao beli Gausov šum (AWGN). Kanal koji sadrži samo direktni signal od predajnika bez refleksija i k-kanalnih emisija se naziva Gausov kanal. Kao rezultat OFDM

spektar je pravougaonog oblika, dok je standardna devijacija spektralnih amplituda i opsegu kanala \approx između 0 i 1 dB.

Opšta merenja služe da se odredi tačnost modulacije i proračun BER-a DVB-T signala. BER predstavlja odnos broja pogrešno prenetih bita sa ukupnim brojem bita prenesenih u datom vremenu čime se određuje mera kvaliteta primljenog digitalnog signala. Rezultati merenja opštih parametara koji se porede sa ograničenjima prikazani su u Tabeli 1. Vrednost nivoa (*Level*) pokazuje prosečnu snagu digitalno modulisanog signala na ulazu prijemnika. MER (*modulation error ratio*) i EVM (*error vector magnitude*) se mogu iskoristiti za kvantitativnu analizu konstelacionih tačaka u konstelacionom dijagramu u smislu njihove devijacije od teorijske lokacije. Što su veće ove dve vrednosti bolji je kvalitet signala. Može se videti da većina parametara nije zadovoljavajuća.



Slika 1: DVB-T spektralna merenja

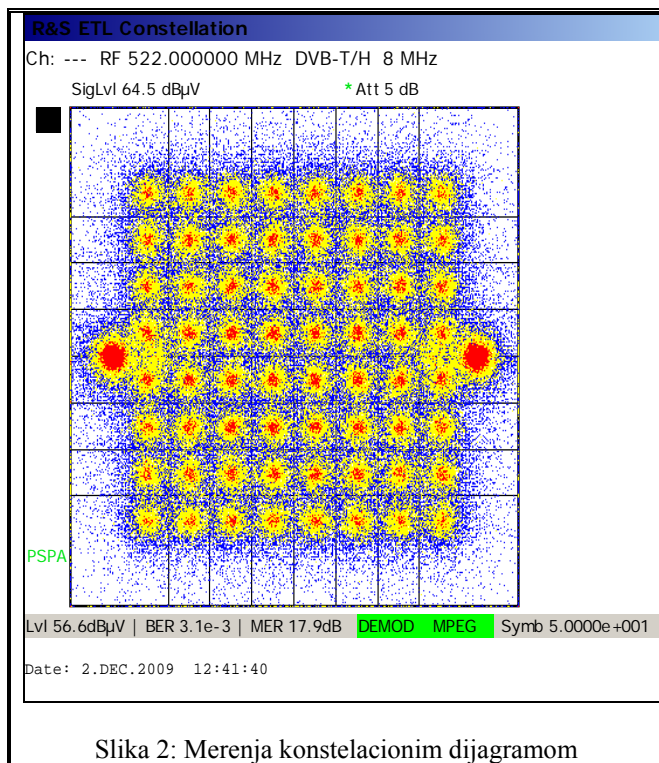
Fail	Limit	Results	Limit	Unit
Level	47.0	56.9	117.0	dBuV
Constellation		64 QAM NH / normal		
MER (rms)	24.0	18.9		dB
MER (peak)	10.0	3.7		dB
EVM (rms)		7.47	4.40	%
EVM (peak)		52.23	22.00	%
BER before Viterbi		3.7e-2(10/10)	1.0e-2	
BER before RS		1.9e-3(10/10)	2.0e-4	
Packet Error Ratio		0.1e-4(8/10)	1.0e-8	
Packet Errors		1	1	/s
Carrier Freq Offset	-30000.0	-48.3	30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0	-0.3	100.0	ppm
MPEG Ts Bitrate		22.117642		MBit/s

Tabela 1: Pregled opštih parametara DVB-T signala

S obzirom da DVB-T omogućava unutrašnju i spoljašnju korekciju greške: RS (*Reed-Solomon*) blok kodiranje i konvoluciono kodiranje, na mestu prijemnika se nalaze *Viterbi* i *Reed-Solomon* dekodirer tako da se računa BER pre *Viterbija*, BER pre RS i paketi grešaka nakon RS. Bitska brzina prenosnog signala određuje prenosne parametre DVB-T signala i direktno utiče na sledeće parametre: frekvencijski razmak između posebnih nosilaca OFDM spektra, period simbola i apsolutnu dužinu zaštitnog intervala.

Merenje konstelacionim dijagramom (analiza modulacije) prikazuje konstelacioni dijagram demodulisanog signala. Pošto DVB-T standard definiše signal sa više nosilaca, prikazana je konstelacija izabranog opsega nosioca. Mogućnost pojave tačaka u kompleksnoj I/Q ravni je predstavljena različitim bojama. Konstelacioni podaci su dostupni samo grafički (Slika 2), tako da se očitavanjem podataka daljinskom kontrolom dobija kopija displeja, a ne lista I/Q uzoraka. Što su konstelacione tačke manje to je bolji kvalitet signala.

Pozicije disperzovanih i kontinualnih pilota (na levoj i desnoj strani), kao i signalizacioni (*Transmission Parameter Signaling* - TPS) piloti se mogu videti na I osi konstelacionog dijagrama. Disperzovani piloti koriste se za procenu i korekciju karakteristika kanala tako da u konstelacionom dijagramu predstavljaju tačku provere koja se uvek ispravlja na istu poziciju. Signalizacioni piloti daju prijemniku informacije o predajniku koje se odnose na mod rada, izboru modulacione šeme, vrsti rada, trajanju zaštitnog intervala, kodnom količniku.



Slika 2: Merenja konstelacionim dijagramom

Greške modulacije (analiza modulacije) je merenje koje određuje detaljniju tačnost modulacije i I/Q proračune nesimetrije DVB-T signala. Merni rezultati se porede sa graničnim i prikazani su u Tabeli 2. Može se videti da je potiskivanje nosioca (odnos između nivoa signala korisne

informacije nosioca i zaostale komponente nosioca modulatora) manje od granične vrednosti što će se ogledati u nagibu modulacione greške na displeju u opsegu DVB-T podnosioca u centru opsega. RF potiskivanje nosioca predstavlja meru nedostatka RF nosilaca u odnosu na modulisani izlazni signal. Zaostali nosilac vodi ka DC komponenti u kompleksnom signalu utičući na centralnu frekvenciju DVB-T signala..

Fail	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	47.0		56.7		117.0	dBµV
Amplitude Imbalance	-2.00		-0.03		2.00	%
Quadrature Error	-2.00		0.05		2.00	deg
Carrier Suppression	10.0	*	3.6			dB
Carrier Phase			127.3			deg
MER (rms)	24.0	*	18.3		-----	dB
MER (peak)	10.0	*	3.7		-----	dB
EVM (rms)	-----	*	8.01		4.40	%
EVM (peak)	-----	*	52.23		22.00	%
Lvl 56.6dBµV | BER 3.1e-3 | MER 18.3dB DEMOD MPEG						
Date: 2.DEC.2009 12:42:43						

Tabela 2: Merenja modulacione greške DVB-T signala

Merenje reflektovanih signala (analiza kanala) prikazuje oblik refleksije predajnog kanala. Refleksije mogu biti prouzrokovane npr. refleksijama na zgradama, dok se drugi predajnici u jednofrekvencijskoj (SFN) mreži mogu takođe smatrati refleksijama i biti prikazani u odnosu na vreme kada je referentni signal primljen. Zaštitni interval je određen dvema vertikalnim linijama „guard start“ i „guard stop“ (Slika 3). Pozicioniranje FFT prozora za demodulaciju je takvo da je zbir vrednosti snage svih detektovanih putanja reflektovanih signala na svojoj maksimalnoj vrednosti. Horizontalna linija (*Echo Detection Threshold*) automatski određuje prag snage i ne uzima u obzir putanje reflektovanih signala ispod ovog praga pri pozicioniranju FFT prozora. Tabela ispod grafika prikazuje deset najjačih reflektovanih signala prema nivou jačine ili deset prvih reflektovanih signala prema vremenskom kašnjenju (ili razdaljini). Merenja nivoa eho signala su naročito od interesa ako se izvode merenja pokrivenosti.

Merenje ofseta frekvencije SFN-a (analiza kanala) je deo merenja reflektovanih signala. U SFN mreži, različiti predajnici mogu biti provereni u smislu provere njihove tačne frekvencije. Frekvencijski ofseti su postavljeni u odnosu na poziciju impulsnog signala na nuli na vremenskoj osi.

Merenje amplitude, faze i grupnog kašnjenja (analiza kanala) određuje amplitudu, fazu i grupno kašnjenje funkcije prenosnog kanala u skladu sa odgovarajućim DVB-T nosiocima. Ova merenja prikazuju linearna izobličenja koja prouzrokuju kombajneri antene i filtri i mogu se kompenzirati ekvilajzerom unutar predajnika.

3. MERENJE KVALITETA DVB-T SIGNALA U MOBILNOM REŽIMU

Merenje digitalnog radiodifuznog signala na 27. UHF kanalu koji se emituje sa Avale izvršeno je na lokaciji Beograda u mobilnom režimu mernim uređajem R&S ETL i antenom R&S HE 500 postavljenom na krovu vozila. Podaci su obrađeni korišćenjem softvera R&S Romes 3NG [8].

U uslovima mobilnog prijema BER i MER zavise od brzine kretanja vozila i reflektovanih signala. Ako poznajamo faktor antene (k) može se izračunati jačina polja (E) izmerenog ulaznog nivoa (U) na test prijemniku. Za frekvenciju 522 MHz faktor antene HE 500 k iznosi 9 dB/m, tako da se jačina električnog polja izračunava prema jednačini:

$$E[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] = U[\text{dB}\mu\text{V}] + k[\text{dB}/\text{m}] \quad (1)$$

Pitanje da li je jedna lokacija pokrivena signalom ili ne, zavisi ne samo od primljene snage signala, već i od činjenice da li prijemnik može omogućiti prijem slike i zvuka bez greške (error-free). BER od $2 \cdot 10^{-4}$ nakon Viterbi dekodera (unutrašnje kodiranje) je usvojena kao jedna referentna vrednost koja odgovara prijemu bez greške (QEF – quasi error-free) nakon spoljašnjeg Reed Solomon (RS) dekodera (204,188). Predajni kanal u polju je obično između Gausovog i Rejljevog kanala, tako da zahtevani odnos C/N ili zahtevana snaga signala će biti različita na različitim prijemnim lokacijama da bi dostigli BER od $2 \cdot 10^{-4}$. Snaga šuma na ulazu prijemnika se izračunava uzimajući u obzir Bolcmanovu konstantu, širinu kanala i temperaturu tako da je približna vrednost -98.1 dBm. Za zahtevane odnose RF

signala i šuma (C/N) prema tehničkom Aneksu kriterijuma za planiranje DVB-T ECCRep004 [9], dobija se da je za Rice-ov kanal C/N=17.1 dB, dok je za Rayleig-ev kanal C/N=19.3 dB, pri 64QAM i kodnom količniku 2/3, tako da je minimalna vrednost ulaznog napona 28 dB μ V i 30 dB μ V za Rice-ov i Rayleig-ev kanal, respektivno. Vrednost koja se dobija nije samo teorijska već i praktična vrednost ako prijemnik prima samo signal iz jednog pravca. U slučaju da signali stižu sa raznih putanja potrebno je da je ulazni nivo za 10 do 15 dB veći.

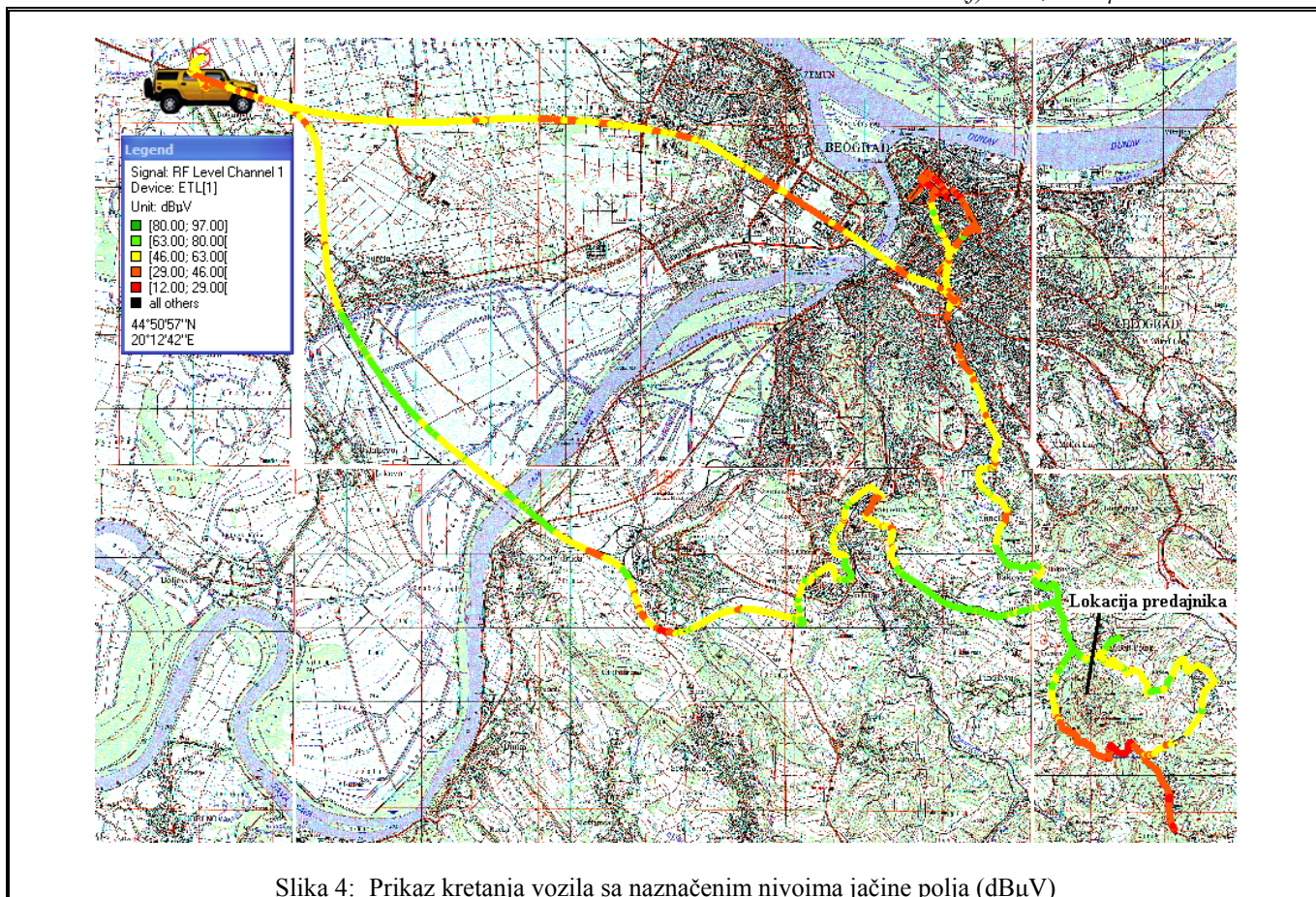
Na slici 4 možemo videti prikaz kretanja vozila, odnosno rutu, kao i jačinu polja prikazanu različitim bojama tokom mobilnog prijema signala, dok se u tabeli 3 mogu videti osnovni parametri DVB-T signala.

Minimalne srednje vrednosti jačine polja (dB(μ V/m)) različitih DVB-T sistemskih varijanti u slučaju fiksnog prijema (FX), portable outdoor prijema (PO), portable indoor prijema (PI) i mobilnog prijema (MO) za frekvenciju od 500 MHz su date tabelarno u RRC 06 [6], dok se minimalna jačina električnog polja za frekvenciju koja se razlikuje od 500 MHz izračunava prema formuli,

$$E_{med}(f) = E_{med}(f_r) + Corr \quad (2)$$

Za fiksni prijem je $Corr = 20 \log_{10}(f/f_r)$, dok je za mobilni prijem $Corr = 30 \log_{10}(f/f_r)$, gde je f željena frekvencija od 522 MHz i f_r referentna frekvencija (500 MHz), tako da se za mobilni prijem, 64QAM i brzinu kodiranja 2/3, dobija da je minimalna jačina električnog polja prema jednačini (2):

$$E_{med}(f) = 81,36 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}.$$



Slika 4: Prikaz kretanja vozila sa naznačenim nivoima jačine polja (dB μ V)

Parameter	Unit	Count	Inva...	Mean	Dev.	Min.	1%	5%	50%	95%	99%	Max.	Eval. mode
RF Level Channel 1	dB μ V	127101	0	47.16	-1.5	10.00	10.00	28.00	49.00	68.00	73.00	77.00	Sample
MER 1	dB	38471	0	20.34	8.4	0.00	0.00	0.00	22.50	28.70	31.00	34.10	Sample
BER after RS 1		38471	38471	---	-	-	-	-	-	-	-	-	Sample
PER 1	pack/s	38471	0	0.00	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0056	0.0170	Sample
C/(N+) 1	dB	38471	38471	---	-	-	-	-	-	-	-	-	Sample
DVB-T Mode 1		38471	474	2.00	-	8K	8K	8K	8K	8K	8K	8K	Sample
Guard Intervall 1		38471	473	2.00	-	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	Sample
Code Rate 1		38471	474	1.00	-	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3	Sample
Constellation 1		38471	473	2.00	-	QAM 64	QAM 64	QAM 64	QAM 64	QAM 64	QAM 64	QAM 64	Sample
Hierarchy 1		38471	473	0.00	-	NONE	NONE	NONE	NONE	NONE	NONE	NONE	Sample
Cell ID 1		38471	0	0.00	-	0	0	0	0	0	0	0	Sample

Tabela 3: Statistički prikaz DVB-T signala

Postoji velika razlika u polju, tako da se u tabeli 4 mogu videti vrednosti koje se kreću od 12 dB μ V do 80 dB μ V neključujući faktor antene. Ako uključimo faktor antene od 9dB/m prema jednačini (1) dobijaju se vrednosti od 21 dB μ V/m do 89 dB μ V/m. Predajna antena je horizontalno polarisana, dok je prijemna antena omnidirekciona i vertikalno polarisana tako da se dobijenim vrednostima dodaje i faktor gubitka usled neslaganja u polarizaciji čija praktična vrednost iznosi oko 20 dB [10].

Dobijene vrednosti za minimalne jačine električnog polja su manje od teorijsko dobijene vrednosti za minimalnu jačinu električnog polja za zadatau frekvenciju, vrstu modulacije, kodni količnik i načina rada.

ETL [1]		
RF Level Channel 1 in dB μ V	%	#
[12.00, 16.25[	0.0%	8
[16.25, 20.50[	0.0%	0
[20.50, 24.75[	0.2%	192
[24.75, 29.00[	2.5%	3200
[29.00, 33.25[	16.4%	20851
[33.25, 37.50[	4.7%	6029
[37.50, 41.75[	6.5%	8205
[41.75, 46.00[	9.0%	11502
[46.00, 50.25[	12.8%	16282
[50.25, 54.50[	8.7%	11079
[54.50, 58.75[	16.5%	21032
[58.75, 63.00[	6.7%	8491
[63.00, 67.25[	7.4%	9424
[67.25, 71.50[	3.8%	4865
[71.50, 75.75[	1.7%	2163
[75.75, 80.00[	0.1%	100
[80.00, 84.25[	0.0%	0
[84.25, 88.50[	0.0%	0
[88.50, 92.75[	0.0%	0
[92.75, 97.00[	0.0%	0

Tabela 4: Tabelarni prikaz nivoa električnog polja DVB-T signala

4. ZAKLJUČAK

Posle više od godinu dana od kada je javni servis RTS počeo sa probnim emitovanjem digitalnog TV signala, na polju digitalizacije urađeno je nekoliko stvari. Doneta je strategija koja je definisala regulatorni okvir za digitalnu tranziciju, gde je predviđena primena standarda druge generacije za izvorno kodovanje i digitalno emitovanje, što omogućava čitav niz prednosti. RTS je započeo aktivnosti na uvođenju televizije visoke rezolucije (HDTV). Eksperimentalni sistemi na Telsiksu i Telforu u 2009.-oj

godini su potvrdili spremnost da u relativno kratkom roku bude realizovana digitalna zemaljska TV mreža u Srbiji. U tom cilju, u procesu tranzicije mora se posebna pažnja posvetiti izbegavanju pojave interferencije DVB-T signala sa analognim servisima što će se postići dobrim planiranjem i merenjima pokrivenosti DVB-T signalom određenih oblasti u skladu sa zadatim preporukama i propisima.

ZAHVALNICA: Zahvaljujemo se Dušku Kostiću, dipl.inž., Milošu Josipoviću inž. i Sanji Gordić dipl.inž. iz Republičke Agencije za telekomunikacije na omogućavanju korišćenja potrebnih instrumenata i programa za obradu podataka, kao i na davanju određenih sugestija u izradi rada.

LITERATURA

- [1] ETSI EN 300 744 Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television
- [2] <http://www.telsiks.org.rs/TELSIKS2009-report.pdf>
- [3] <http://www.teamcast.fr/en/maj-e/c2a9i18844/teamcast-news/news/dvb-t2-live-demonstration-at-telfor-2009.htm>
- [4] Bratislav Milovanović, Jugoslav Joković, Vesna Milutinović: Eksperimentalno emitovanje digitalnog programa zemaljske televizije (Zbornik radova PosTel 2009: str. 235-244)
- [5] ETSI TR 101 290 Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB-T systems
- [6] ITU - Final acts of the regional radiocommunication conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 mhz and 470-862 mhz (RRC-06)
- [7] Recommendation ITU-R SM.1682 Methods for measurements on digital broadcasting signals
- [8] <http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/3>
- [9] Technical Report - Annex to ECC Report 4: Initial ideas concerning the revision of the Stockholm (1961) agreement Technical Annex: criteria for planning DVB-T
- [10] <http://www.kyes.com/antenna/navy/polarization/polariza.htm>