

## UTICAJ SREDINE NA PROSTIRANJE ELEKTROMAGNETNIH TALASA KOD DIGITALNIH RADIO-RELEJNIH UREĐAJA GRC 408E

Radonjić M. *Vojkan*, Vojska Srbije, Kopnena vojska,  
Tehnički remontni zavod „Čačak“, Čačak,  
Gaćeša N. *Nebojša*, Ministarstvo odbrane Republike  
Srbije, Uprava za odnose sa javnošću, Medija centar  
„Obrana“, Beograd

UDK: 537.87:621.396.6

### Sažetak:

*Kvalitet prenosa digitalnog signala od predajnog do prijemnog radio-relejnog uređaja zavisi od uticaja efekata sredine na prostiranje elektromagnetnih talasa. U ovom radu su objašnjeni i modelovani neki od najvažnijih efekata, koji su karakteristični za frekventni opseg u kome radio-relejni uređaj GRC 408E radi.*

*Na osnovu rezultata modelovanja doneti su zaključci o kvalitetu prenosa digitalnih signala kod radio-relejnih uređaja GRC 408E.*

*Ključne reči: elektromagnetni talasi, radio-relejni uređaji, greške u primljenom bitu, pojave koje prate prostiranje, uticaji sredine.*

## Uvod

Rad je nastao kao rezultat sveobuhvatne analize uticaja sredine na prostiranje elektromagnetnih talasa (EMT) kod digitalnih radio-relejnih veza. Ideja za ovu vrstu analize nastala je nakon što su Ministarstvo odbrane i Vojska Srbije nabavili moderne digitalne radio-relejne uređaje (RRU) GRC 408 E namenjene za ugradnju u pokretne centre veze. Njihovom ugrađivanju prethodi izrada glavnog projekta sistema veza u VS, pa bi ovakva analiza bila vrlo korisna. Pristup svim analizama, počev od proračuna profila deonica, efekata uticaja sredine na prostiranje EMT, kao i od načina odražavanja tog efekta na kvalitet prenosa digitalnog signala, potpuno je drugačiji nego kod analognih radio-relejnih sistema. Kod digitalnih RRU osnovni parametar za ocenu kvaliteta prenosa je greška u prenosu, odnosno greška po primljenom bitu, koja je i korišćena u sprovedenom modelovanju za ocenu kvaliteta prijemnog signala pri modelovanju različitih efekata uticaja sredine na prostiranje EMT.

## Prostiranje elektromagnetnih talasa

Prostiranje elektromagnetnih talasa u realnim uslovima razmatra se sa stanovišta izvora koji zrači EMT, puta i sredine kroz koju se EMT šire. U analizi koja će biti prikazana u ovom radu izvor EMT je RRU GRC 408E, put i sredina se modeluju, a zatim se ispituje kako se uticaj sredine odražava na kvalitet veze (prenosa informacija).

Sva elektromagnetna energija širi se od izvora elektromagnetnih talasa različitim putanjama, što zavisi od frekvencijskog opsega i karakteristika zračenja predajne antene. Zavisno od putanje u atmosferi kojom talasi pristižu do prijemne antene postoje sledeće vrste talasa: površinski, prostorni i direktni talasi [1].

Površinski elektromagnetni talasi prostiru se uz samu površinu zemlje. Prostorni ili jonosferski elektromagnetni talasi prostiru se kroz visoke slojeve atmosfere. **Direktni elektromagnetni talasi** prostiru se pravolinijski od predajne ka prijemnoj anteni. Radio-veza koja se ostvaruje pomoću direktnih elektromagnetnih talasa naziva se radio-relejna veza, a ostvaruje se uz **uslov optičke vidljivosti** između predajne i prijemne antene radio-relejnih uređaja.

Digitalne radio-relejne veze koriste opseg supervisokih frekvencija, a radio-relejna veza ostvaruje se superkratkim talasima. Predmetni digitalni radio-relejni uređaji rade u frekventnom opsegu od oko 2,5 GHz, pa za EMT koji se prostire u aktuelnom frekventnom opsegu važi sledeće:

- elektromagnetni talas se kroz vazduh prostire pravolinijski, sve dok vazduh ne promeni svoje električne osobine;
- pri prelasku EMT, tokom prostiranja, iz jednog sloja vazduha u drugi, dolazi do savijanja talasa;
- kada EMT pri svom prostiranju naiđe na predmete od provodnog materijala oni se dalje ne prostiru, već se odbijaju;
- pri prostiranju EMT iznad terena sa većim naseljenim mestima ili sa velikim površinama prekrivenim vegetacijom nastaje veliko upijanje EMT, usled čega se smanjuje jačina električnog i magnetnog polja, a time i kvalitet prijema.

Navedene osobine EMT pokazuju neke od efekata uticaja sredine na prostiranje EMT. Usled ovih efekata sredine kvalitet prenosa informacija, od predajnog do prijemnog RRU, biće slabijeg kvaliteta, tj. sa greškom.

Na prostiranje EMT kod digitalnih radio-relejnih veza utiču: frekvencija, zakrivljenost Zemljine površine, magnetno Zemljino polje, sastav zemljišta, sastav atmosfere, stanje jonosfere, doba dana i godine, meteorološki uslovi i slično.

Pristup analizi kvaliteta prenosa informacija kod analognih i digitalnih radio-relejnih sistema se razlikuje i to u sledećem [2]:

- kod analognih radio-relejnih veza kvalitet veza se posmatra preko odnosa signal/šum, dok se kod digitalnih radio-relejnih veza kvalitet veza posmatra preko greške po primljenom bitu **BER (Bit Error Ratio)**;

- kod digitalnih radio-relejnih veza, za razliku od analognih radio-relejnih veza, uzimaju se u obzir uslovi propagacije (talasnost terena, tip zemljišta, blizina velikih vodenih površina);
- drugačiji je pristup određivanju uticaja fedinga i rezerve za feding;
- prenosna vrednost sistema i domet veza kod analognih radio-relejnih veza u odnosu na digitalne radio-relejne veze, imaju drugačije uslovljenosti i druge dijagrame,
- zbog većeg frekvencijskog opsega i direktnosti talasa zadiranje prepreke u Frenelovu zonu se drugačije tretira.

## Pojave koje prate prostiranje elektromagnetnih talasa kod digitalnih radio-relejnih veza

Prostiranje direktnih EMT prate sledeće pojave:

- slabljenje usled propagacije,
- difrakcija (povijanje),
- refrakcija (prelamanje),
- refleksija (odbijanje),
- apsorpcija (upijanje), i
- višestruko prostiranje talasa (engl. *multipath*).

Svaki od navedenih efekata negativno utiče na kvalitet primljenog signala na prijemnoj anteni radio-relejnih uređaja.

## Slabljenje usled propagacije elektromagnetnih talasa

Osnovni parametar za ocenu kvaliteta radio-relejne veze (prenosa signala) jeste nivo polja na prijemu  $n_{Rp}$  [dB], odnosno snaga signala koja se dobija na ulazu u prijemnik, jer jedan od najvažnijih kriterijuma za ocenu kvaliteta prenosa signala, **verovatnoća greške** [BER], jeste u funkciji nivoa polja na prijemu.

*BER* je funkcija prijemnog polja i što je prijemno polje manje, to je *BER* veći. Nivo prijemnog polja pri kojem *BER* prevazilazi specificiranu vrednost naziva se prag prijema za dati *BER*.

Na nivo prijemnog polja kod digitalnih radio-relejnih veza utiču sledeći parametri [5]:

- predajna snaga radio-relejnog uređaja,
- slabljenje antenskog kabla predajnika,
- dobitak predajne antene,
- slabljenje u slobodnom prostoru,
- slabljenje usled apsorpcije kiseonika i vodene pare,

- slabljenje usled fedinga, čiji uzrok može biti višestruka propagacija,
- dobitak prijemne antene i
- slabljenje antenskog kabla prijemnika.

Nivo prijemnog polja u odsustvu fedinga naziva se **nominalni nivo prijemnog polja**. Razlika nominalnog nivoa i praga prijema predstavlja rezervu ili budžet za feding za dati *BER*.

Nivo polja na predajniku  $n_E$  i prijemu  $n_{Rp}$  se međusobno razlikuju, odnosno nivo polja na prijemu je manji. Razlika postoji zbog međusobne udaljenosti predajne i prijemne antene i gubitaka usled slabljenja signala tokom prostiranja kroz slobodni prostor.

Nivo polja na prijemu izražava se formulom:

$$n_{Rp} = n_E - a_L, \quad (4)$$

gde je: –  $n_E$  – nivo polja na izlazu predajnika izražena u [dBm],

–  $a_L$  – slabljenje na trasi (slobodnom prostoru) izraženo u [dB].

Slabljenje usled propagacije može se predstaviti izrazom:

$$a_L = 92 + 20 \log f + 20 \log d - g_A - g_B, \quad (5)$$

gde je  $f$  centralna frekvencija posmatranog frekventnog opsega izražena u GHz, je rastojanje između predajnika i prijemnika radio-relejnih uređaja u kilometrima,  $g_A$  i pojačanje predajne i prijemne antene RRU (oko 25dBi), respektivno. Iz izraza se može zaključiti da je slabljenje signala na određenom rastojanju  $d$  približno konstantno za sve frekvencije u posmatranom opsegu pri konstantnim dimenzijama antena. Navedene formule će koristiti u matematičkom modelovanju radio-relejnog sistema pri izračunavanju slabljenja signala pri različitim udaljenostima predajnika i prijemnika sa kojima se ostvaruje radio-relejna veza.

## Difrakcija

Difrakcija je pojava koja prati prostiranje elektromagnetnih talasa i označava njihovu sposobnost da se **povijaju** oko reljefnih oblika na Zemlji, neravnih površina i drugih prepreka prilikom prostiranja kroz sredinu. Difrakcija se razmatra kada prepreke, koje se nalaze na putu prostiranja elektromagnetnih talasa, zadiru u prvu Frenelovu zonu. U ovom radu analizira se slučaj koji je karakterističan za frekventni opseg u kojem radi radio-relejni uređaj GRC 408E.

U literaturi se često koristi veličina „slabljenje usled difrakcije“, koje se definiše izrazom:

$$a_D = 20 \log \frac{E_{R0}}{E_R}, \quad (1)$$

gde su: –  $E_{R0}$  – intenzitet električnog polja u idealnim uslovima propagacije kroz slobodan prostor,  
–  $E_R$  – intenzitet rezultujućeg polja na prijemnoj anteni RRU GRC 408E.

### **Refrakcija**

Refrakcija predstavlja prelamanje elektromagnetnih talasa u nižim slojevima atmosfere. Pojava refrakcije uzrokovana je nehomogenošću atmosfere. Kada bi atmosfera bila potpuno homogena prostiranje elektromagnetnih talasa bilo bi strogo pravolinijsko. Pri prelasku elektromagnetnog talasa iz jednog sloja atmosfere u drugi elektromagnetni talas se prelama blaže ili oštrije, u zavisnosti od veličine razlike dielektričnih konstanti  $\varepsilon_r$  i postepeno se savija ka Zemlji. Brzina prostiranja elektromagnetnih talasa veća je u slojevima udaljenijim od Zemlje (ređa sredina). Gornji deo talasnog fronta elektromagnetnog talasa brže *napreduje* i dolazi do krivljenja talasa prema Zemlji, što se naziva **refrakcija**.

### **Refleksija**

Kada se elektromagnetni talas prostire u blizini Zemljine površine, deo talasnog fronta može da, reflektovan od nje, stigne u prijemnu antenu radio-relejnog uređaja, zajedno sa direktnim elektromagnetnim talasom. To znači da su na prijemniku, pored direktnih talasa, prisutni i reflektovani talasi. Pri tome direktni i reflektovani talas prelaze različite puteve, što znači da na mestu prijema imaju različite fazne stavove. Elektromagnetni talasi na prijemniku (direktni i reflektovani) se vektorski sabiraju, čineći rezultujući EMT. To može da prouzrokuje znatno smanjenje rezultujućeg polja u odnosu na polje koje bi imali u idealnim uslovima. Pod posebno nepovoljnim slučajevima refleksije može doći do delimičnog ili potpunog prekida veze. Ova pojava naziva se **feeding**.

Uticaj refleksije se u dostupnoj literaturi uvodi u proračun preko veličine koja se naziva **slabljenje usled refleksije**, izražene u decibelima, na sledeći način [3]:

$$a_R = 20 \log \left( \frac{E_0}{E_R} \right), \quad (2)$$

ili

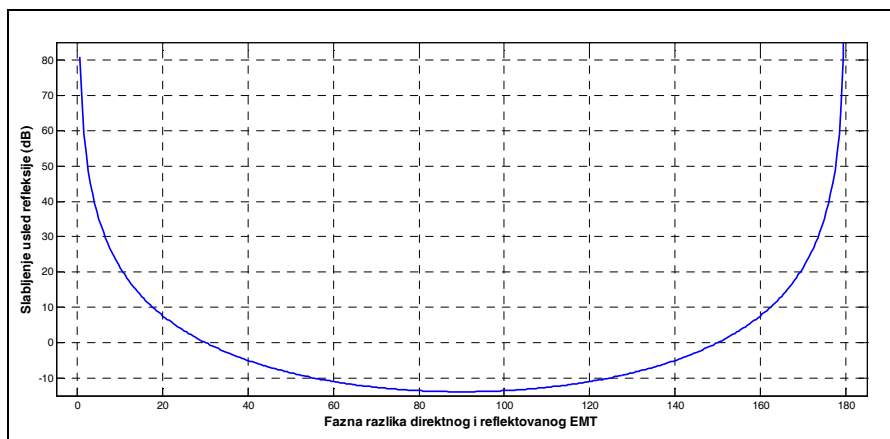
$$a_R = 20 \log \left[ \frac{1}{2 \sin \theta_R} \right], \quad (3)$$

gde su: –  $E_0$  – intenzitet električnog polja direktnog EMT,

–  $E_R$  – intenzitet rezultujućeg polja i

–  $\theta_R$  – fazna razlika direktnog i reflektovanog EMT na mestu prijema.

Na slici 1 prikazano je slabljenje usled refleksije u funkciji ekvivalentnog ugla refleksije, odnosno u funkciji fazne razlike direktnog i reflektovanog EMT.



Slika 1 – Slabljenje usled refleksije

Analizirajući formulu (3) i grafikon slabljenja usled refleksije na slici 1 vidi se da za vrednosti  $\theta_R$  između  $30^\circ$  i  $150^\circ$  dobija pojačanje signala na prijemu, odnosno  $E_R > E_0$ . Za ugao od  $90^\circ$  pojačanje dostiže dva puta veću vrednost (6 dB), odnosno  $E_{R \max} = 2E_0$ . Bez obzira na ove konstatacije pojavu refleksije treba izbegavati, jer je promenljivog karaktera. Refleksija se uzima u obzir ako ima difuzni karakter usled neravnina u zoni refleksije.

### Apsorpcija

Apsorpcija ili upijanje EMT javlja se kod svih frekvencijskih opsega i odražava veće ili manje slabljenje elektromagnetnih talasa. Za područje UKT (300 MHz–3 GHz) i SKT (3–30 GHz) izražena je velika apsorpcija za EMT koji se prostiru *površinski*. Apsorpcija kod ove vrste EMT je

prisutna, jer se oni prostiru iznad terena sa: većim naseljenim mestima, velikim površinama pokrivenim vegetacijom i sl. Usled toga smanjuje se jačina električnog i magnetnog polja, a time i kvalitet prijema.

Kod supervisokih frekvencija slabljenje usled apsorpcije mora se uzeti u razmatranje i dodati ostalom slabljenju EMT. Kada direktni talasi naiđu na kišu, sneg, maglu ili oblake dolazi do slabljenja elektromagnetnih talasa. Efekat slabljenja usled apsorpcije izražen je na frekvencijama preko 7 GHz. Do ove frekvencije snaga EM polja opada sa kvadratom rastojanja, a preko ove frekvencije snaga dodatno opada eksponencijalno sa rastojanjem.

S obzirom na to da predmetni radio-relejni uređaj GRC 408E radi na frekvencijama od oko 2.5 MHz, pojava apsorpcije elektromagnetnih talasa neće biti predmet ovog rada.

### *Višestruko prostiranje elektromagnetnih talasa*

EMT od predajnika do prijemnika može stići različitim putevima, pa je takvo prostiranje EMT poznato pod nazivom višestruko prostiranje EMT.

Rezultujuće elektromagnetno polje je kombinacija direktnog i indirektnog EMT. Ako su elektromagnetni talasi na prijemnoj anteni primljeni u fazi, pojačavaju jedan drugog i na mestu prijema je veći nivo elektromagnetnog polja. Ako su fazno pomereni može doći do delimičnog ili potpunog nestajanja intenziteta polja na prijemu. Ova pojava naziva se **feeding** [4].

### *Feeding*

Pojam feedinga obuhvata pojavu koja se ispoljava kao nestabilnost nivoa polja EMT na mestu prijema, a rezultat je promenljivih (nestabilnih) uslova prostiranja elektromagnetnih talasa. Feeding izaziva kratkotrajno slabljenje elektromagnetnih talasa na prijemu. Promene amplitude signala na mestu prijemnika nastaju usled interakcije signala i objekata koji se nalaze u prostoru između predajnika i prijemnika, a koji uzrokuju da na prijem umesto jednog signala pristiže više kopija korisnog signala različitih amplituda i kašnjenja. Do pojave velikog broja kopija korisnog signala na prijemu dolazi usled efekata uticaja sredine na prostiranje elektromagnetnih talasa duž trase, kao što su: refleksija, refrakcija, difrakcija i njihova kombinacija.

Ukupno slabljenje usled prostiranja elektromagnetnih talasa na trasi je:

$$a_0(t) = a_L + a_F(t). \quad (6)$$

Dodatno slabljenje  $a_F(t)$  naziva se **slabljenje usled fedinga**, a pri-  
raštaj ovog slabljenja **dubina fedinga**. Na osnovu iskustava, u radio-re-  
lejnim vezama konstatovane su sledeće zakonitosti:

- dubina fedinga raste sa povećanjem frekvencije nosioca prenoše-  
nog signala,
- dubina fedinga raste sa porastom dužine trase,
- pojava fedinga zavisi od konfiguracije terena i klimatskih uslova  
datog područja,
- feding zavisi od doba dana i godine (kod nas se češće javlja u let-  
njim mesecima i u kasnim noćnim i ranim jutarnjim časovima),
- u talasnom području iznad 10GHz pojava fedinga ne zavisi od po-  
larizacije, dok je u području ispod 1GHz, sa aspekta fedinga, povoljnija  
horizontalna polarizacija.

## Vrste fedinga

### *Propagacijski feding*

Propagacijski feding je posledica varijacije polja elektromagnetnih talasa  
usled poremećaja uslova prostiranja direktnog EMT (to znači da EMT ne ide  
ravno do cilja već je povijen nagore ili nadole, pa je EM polje slabije u odnosu  
na glavni talasni front). Uglavnom je spor i javlja se iznad homogenog tla, kao  
što su voda, jezera, mora i pustinje, zatim posle kiše i sl. Ne zavisi od fre-  
kvencije, a njegov efekat delovanja u celom opsegu frekvencija je isti.

### *Interferencijski feding*

Interferencijski feding (*multipath* – feding usled višestruke propagaci-  
je talasa po više putanja) posledica je pojave jednog ili više indirektnih ta-  
lasa na prijemu, pored postojanja željenog direktnog elektromagnetnog  
talasa. Faze ovih talasa mogu se dosta razlikovati, a kao posledica može  
se desiti i potpuni prekid veze. Indirektni talas, koji je posledica refleksije  
od tla, relativno je konstantan i stalno prisutan, dok se u gornjim slojevi-  
ma atmosfere javlja elektromagnetni talas kao posledica složenijih pojava  
refleksije i refrakcije, tj. višestruke propagacije.

Interferencijski feding može da bude vrlo dubok i deli se u dve klase:  
ravni i selektivni. Ukupni prekid veze zbog višestrukog fedinga jednak je  
zbiru prekida zbog ravnog fedinga i prekida zbog selektivnog fedinga.

### *Ravni feding*

Prema samom nazivu fedinga jasno je da interferencijski feding  
usled višestruke propagacije deluje isto u celom frekventnom opsegu sig-



nala, odnosno kanala. Prenosna funkcija radio-frekventnog kanala, u slučaju ravnog fednga, ravna je linija, pa otuda i naziv **ravni feding**.

Analički, verovatnoća pojave fedinga u funkciji slabljenja usled fedinga može se aproksimativno izračunati relacijom:

$$P_{RF}(a_F) = P_0 10^{\frac{-a_F}{10}}, \quad (7)$$

gde je  $P_0$  faktor pojave fedinga za najgori mesec, a  $a_F$  je slabljenje usled fedinga u [dB].

Faktor pojave fedinga predstavlja se kao:

$$P_0 = K Q f d^3, \quad (8)$$

- gde su: –  $K$  – faktor koji uzima u obzir uticaj terena i klime,  
 –  $Q$  – faktor koji uzima u obzir efekte na trasi koji su drugačiji od uticaja koje izazivaju frekvencija i dužina deonice,  
 –  $f$  – frekvencija nosioca u [GHz], i  
 –  $d$  – dužina deonice u [km].

### **Selektivni feding**

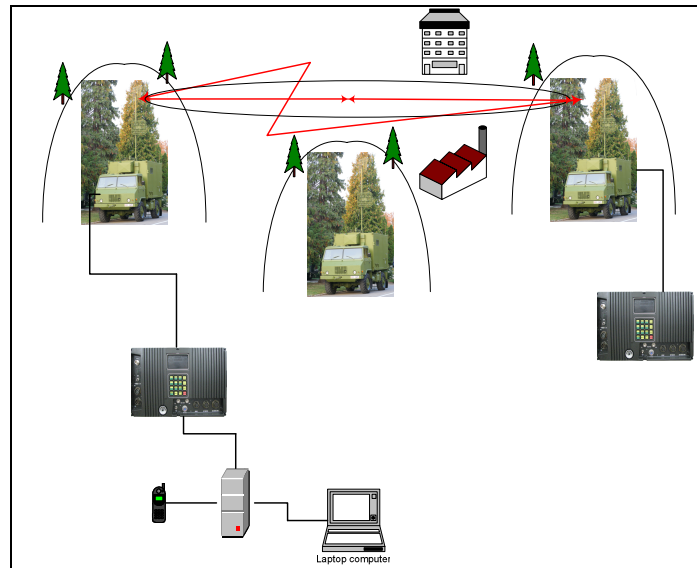
EMT modulisan osnovnim signalom stiže na prijemnu antenu kao grupa talasa (u okviru modulacionog spektra) sa različitim intenzitetom pojedinih komponentata u spektru u odnosu na emitovani spektar. Intenzitet je različit, jer je uticaj sredine na komponentu iz spektra različit (svaka komponenta je različito reflektovana, neka komponenta je apsorbovana i sl.). Snaga sadržana u nosećem talasu i bočnim talasima zavisiće na mestu prijema od njihovih položaja u frekventnom spektru modulisanih signala i menjaće se sa promenama koje nastaju usled uticaja sredine na prostiranje elektromagnetnih talasa, dajući kao proizvod pojavu koja se naziva **selektivni feding**.

Kada se pojavi selektivni feding sve frekvencije emitovanog signala ne zadržavaju svoje originalne faze i amplitude. Ova vrsta fedinga prouzrokuje iskrivljenost signala i ograničava celi emitovani signal.

Selektivni feding tek na srednjim protocima podataka (34 Mbit/s) i višim frekvencijama počinje da se uzima u obzir, tj. postaje uporediv sa ravnim fedingom, a u punoj meri počinje da utiče na kvalitet prenosa tek na velikim protocima podataka. S obzirom na to da predmetni radio-relejni uređaj GRC 408E radi sa maksimalnim protokom podataka od 8 Mbit/s, uticaj selektivnog fedinga je mali i neće se razmatrati u ovom radu.

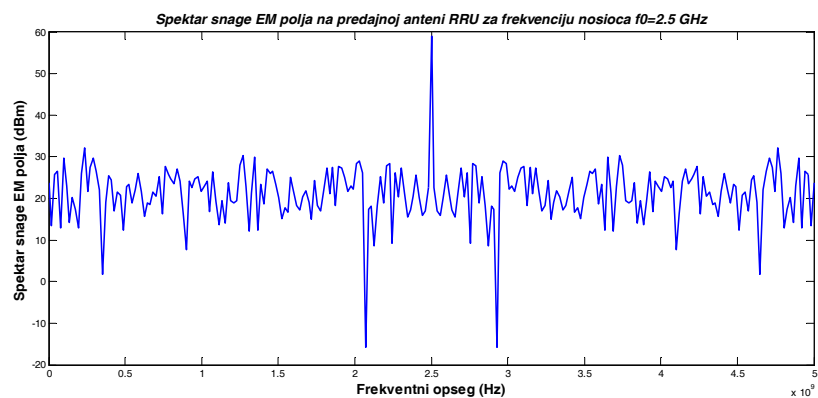
## Model radio-relejnog sistema i rezultati modelovanja

Pretpostavljeni model radio-relejnog sistema prikazan je na slici 2.



Slika 2 – Model radio-relejnog sistema

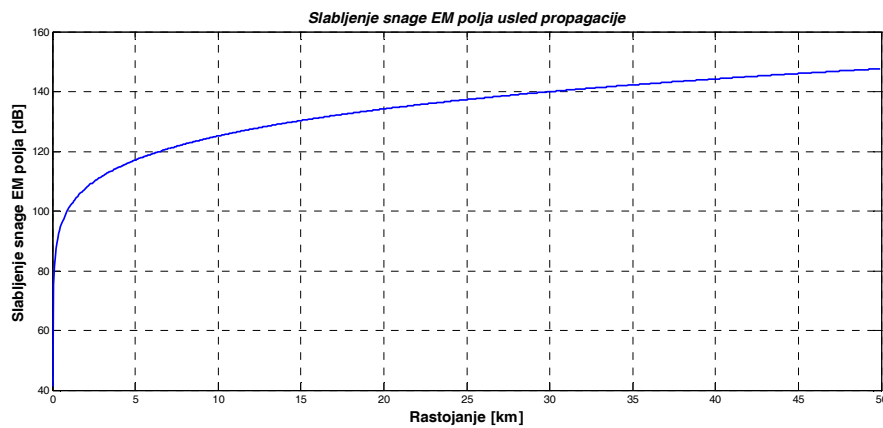
Modelovani su različiti uticaji sredine: slabljenje usled propagacije, slabljenje usled difrakcije, slabljenje usled refleksije, slabljenje usled više-struke propagacije i izračunata je verovatnoća da će u modelovanoj sredini biti prisutan ravni fading.



Slika 3 – Spektar snage EM polja na predajnoj anteni za slučaj QAM modulisanog signala

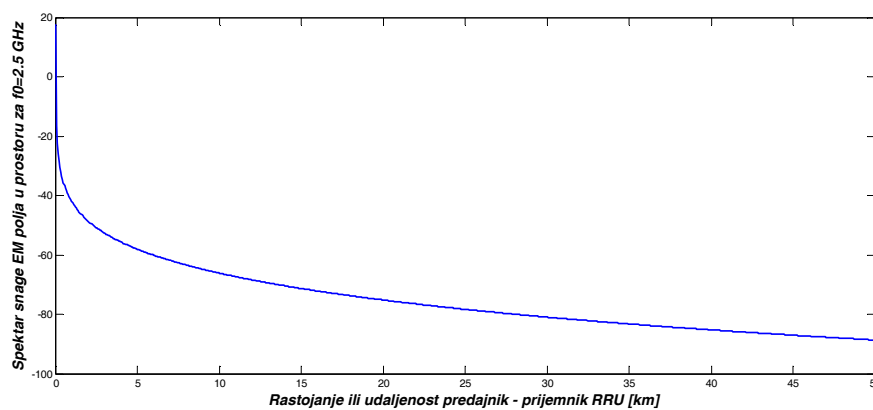
Modelovanje je izvršeno na način da je generisan slučajni binarni niz koji je modulisan jednom od modulacija koju nudi uređaj GRC 408E (16 QAM ili QPSK) [6]. Tako modulirani signal je, uslovno rečeno, poslat sa predajne antene RRU ka prijemnoj anteni uređaja koja se nalazi na udaljenosti od 30 km. Spektar snage EM polja na predajnoj anteni za slučaj 16QAM moduliranog signala prikazan je na slici 3.

EMT koji nosi korisnu informaciju (binarni niz) jeste direktni EMT. On je na svom putu do prijemne antene RRU izložen slabljenju usled propagacije. Na slici 4 prikazano je slabljenje spektra snage EM polja u funkciji rastojanja predajna – prijemna antena RRU.



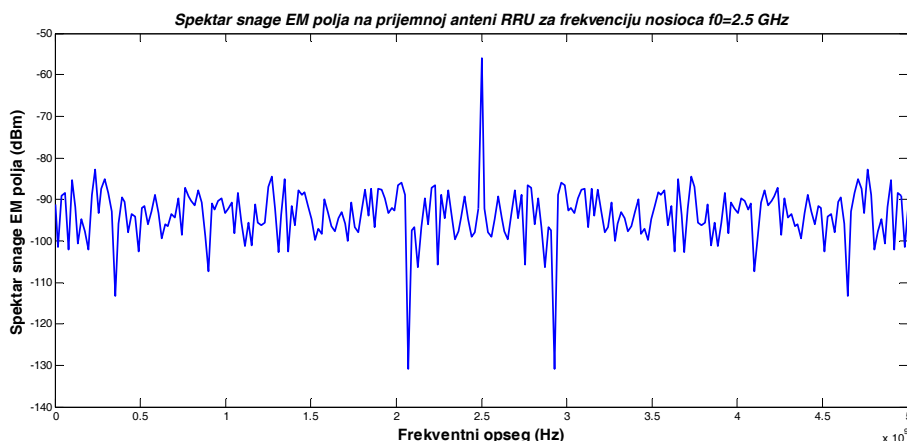
Slika 4 – Slabljenje snage EM polja usled propagacije

Slabljenje usled propagacije raste sa povećanjem rastojanja  $d$ , tako i snaga EM polja opada sa povećanjem rastojanja. Snaga EM polja opada sa kvadratom rastojanja, kao što je prikazano na slici 5.



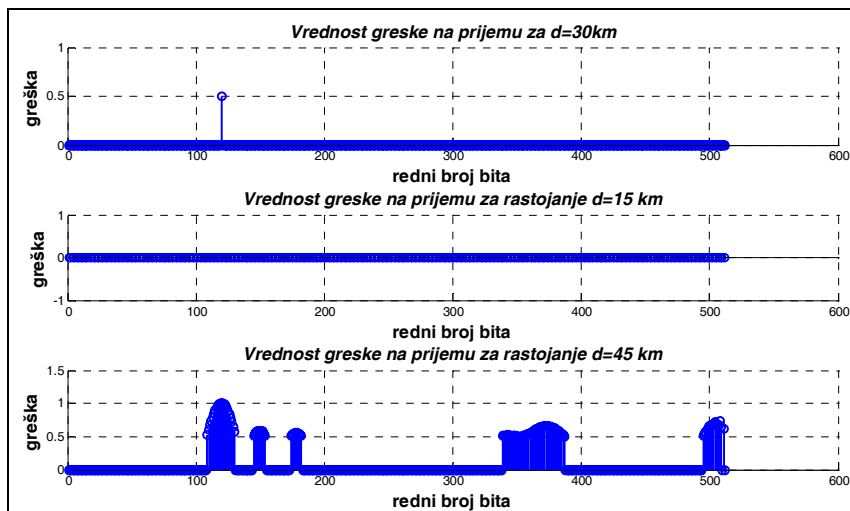
Slika 5 – Snaga EM polja u prostoru u funkciji udaljenosti predajne i prijemne antene

Na slici 6 prikazan je spektar snage EM polja na prijemnoj anteni RRU. Snaga EM polja je opala u odnosu na snagu EM polja na predajnoj anteni usled slabljenja prilikom propagacije EMT, od predajne do prijemne antene RRU.



Slika 6 – Spektar snage EM polja na prijemnoj anteni za slučaj propagacije

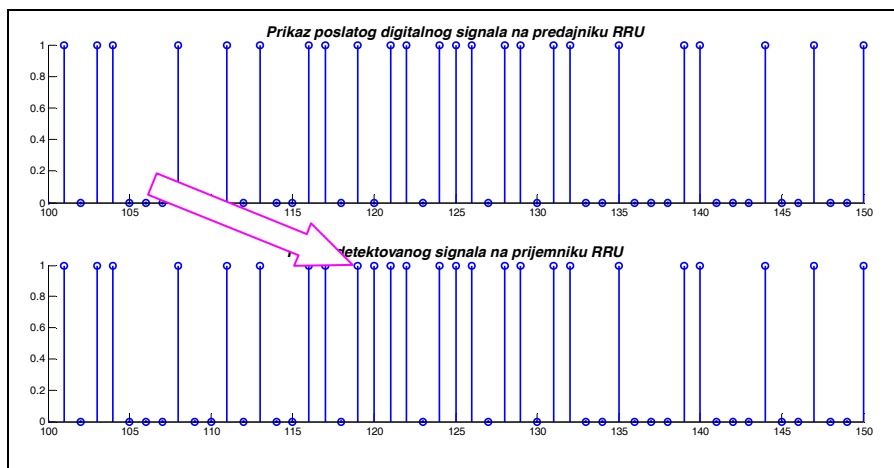
Nakon antenskog pojačanja i demodulacije vrši se analiza poslatog i primljenog signala, radi donošenja zaključka o veličini greške u prenosu osnovnog digitalnog signala, do koje je došlo zbog uticaja slabljenja usled propagacije.



Slika 7 – Vrednost greške na prijemu za slučajeve  $d = 30$  km,  $d = 15$  km i  $d = 45$  km

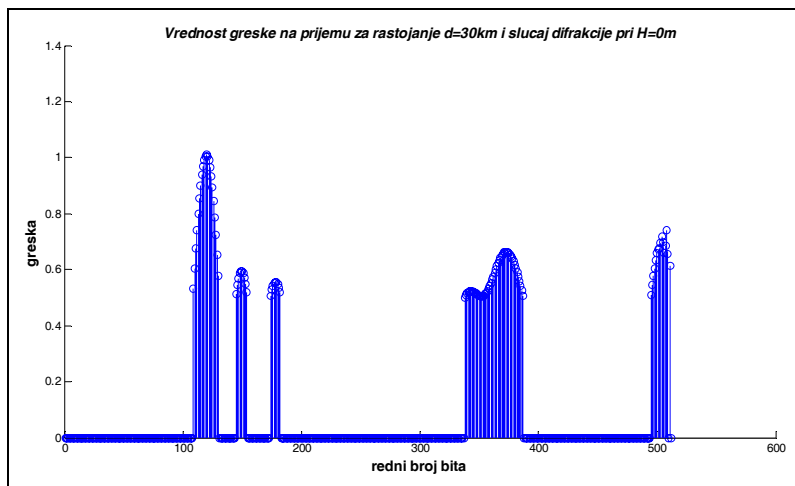
Na slici 7 prikazana su tri karakteristična slučaja pri kojima je računata greška zbog slabljenja usled propagacije. Analizirani su slučajevi kada je  $d = 30$  km,  $d = 15$  km i  $d = 45$  km. Kao što se vidi sa slike greška u prenosu postoji za  $d = 30$  km i  $d = 45$  km, dok za  $d = 15$  km ne postoji greška u prenosu. Rezultat je očekivani, jer po fabričkoj karakteristici RRU GRC 408E vrši kvalitetan prenos digitalnih signala za rastojanja  $d$  oko 25 do 30 kilometara, odnosno do ovih vrednosti propisani  $BER$  je manji od  $10^{-6}$ . Dobijena greška u prenosu je za ekstremni slučaj kada je  $d = 30$  km. Dobijeni rezultati su u skladu sa korišćenom literaturom.

Za detaljnije sagledavanje greške u prenosu izvršeno je poređenje spektra poslatog i primljenog signala. Prikaz uporednih signala sa prikazom greške predstavljen je na slici 8.



Slika 8 – Prikaz poslatog i primljenog digitalnog signala

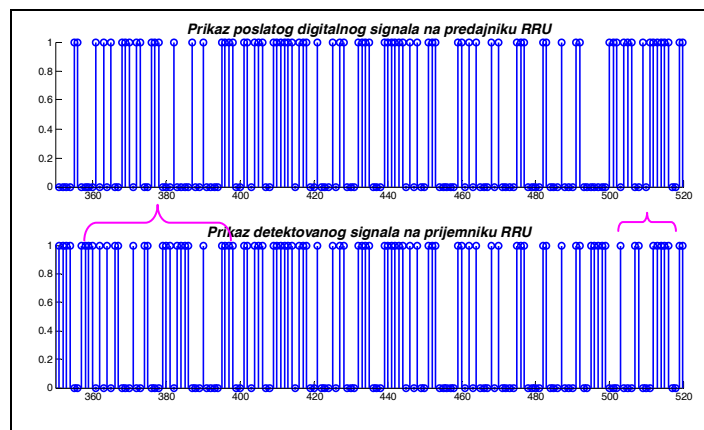
Pretpostavka za kvalitetan prenos digitalnog signala radio-relejnog vezom jeste da se izabere takav reljef terena i izbor položaja u prirodi, za postavljanje u rad radio-relejnog sistema (pokretnog centra veze) na kojem je ugrađen GRC 408 E, tako da su ispunjeni osnovni uslovi za rad radio-relejnih centara. Potrebno je da postoji linija optičke vidljivosti između predajne i prijemne antene RRU i da je slobodna prva Frenelova zona. Kada nije ispunjen slučaj da je prva Frenelova zona slobodna, odnosno kada prepreka u prirodi zadire u Frenelovu zonu dolazi do slučaja difrakcije. U nastavku će biti prikazani rezultati modelovanja dva slučaja difrakcije i to kada prepreka tangira liniju optičke vidljivosti i slučaj kada se prepreka nalazi na određenoj udaljenosti ispod linije optičke vidljivosti.



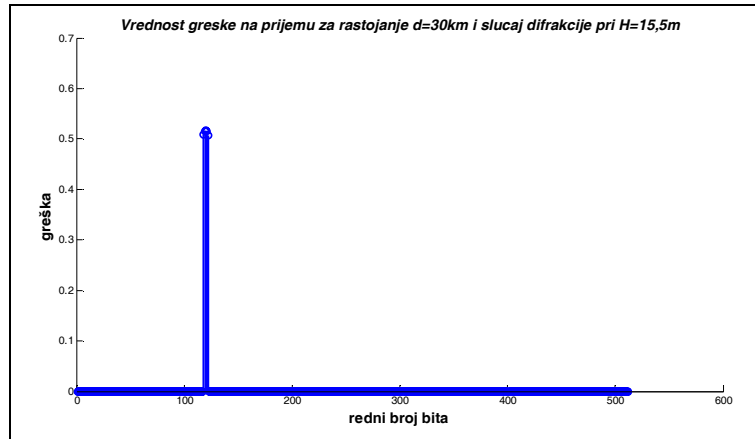
Slika 9 – Prikaz greške na prijemu za slučaj difrakcije kada je  $H = 0$  m

Na slikama 9 i 10 se vidi da postoji dosta grešaka pri prenosu digitalnog signala kada je EMT na svom putu ka prijemniku izložen uticaju difrakcije i to za slučaj kada prepreka tangira liniju optičke vidljivosti. Slabljenje usled difrakcije u ovom slučaju iznosi  $a_D = 6$  dB. Na slici 10 označena je neka od grešaka koje nastaju usled uticaja efekta sredine (difrakcije) na prostiranje EMT kod digitalnih radio-relejnih veza.

Na slikama 11 i 12 prikazani su rezultati za slučaj difrakcije, s tim da je prepreka udaljena 16 metara ispod linije optičke vidljivosti, pri poluprečniku Frenelovog elipsoida od  $r_F = 28,2$  m.

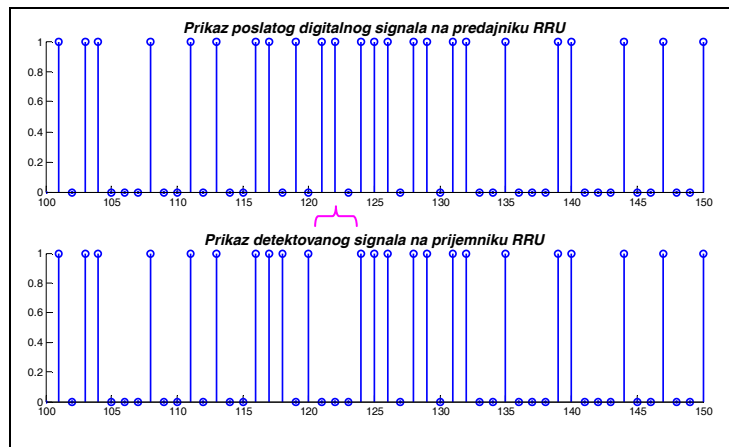


Slika 10 – Prikaz poslatog i primljenog signala za slučaj difrakcije kada je  $H = 0$  m



Slika 11 – Prikaz greške na prijemu za slučaj difrakcije kada je  $H = 16\text{ m}$

Iz rezultata modelovanja sa slika 11 i 12 zaključuje se da je broj grešaka smanjen povećanjem rastojanja prepreke od linije optičke vidljivosti. Rezultat je očekivan i u skladu je sa korišćenom literaturom. Na slici 12 označene su greške u prijemnom digitalnom signalu koje su nastale kao posledica uticaja difrakcije na prostiranje EMT kod digitalnih radio-relejnih veza.



Slika 12 – Prikaz poslatog i primljenog signala za slučaj difrakcije kada je  $H = 16\text{ m}$

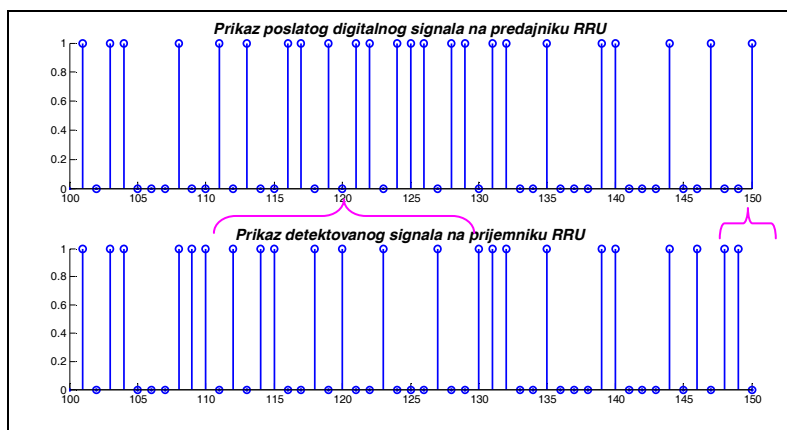
Zaključak je da se pri odabiru terena i proračuna profila deonice mora voditi računa o tome da nijedna prepreka ne zadire u Frenelovu zonu kako bi se zadržala propisana  $BER = 10^{-6}$  i izvršio kvalitetan prenos digitalnog signala od predajnika ka predajniku.

EMT od predajne do prijemne antene RRU može stići različitim putevima, zavisno od efekata sredine kroz koju se EMT prostire. Jedan od najčešćih slučajeva do kojih može doći u praksi jeste da na prijemnoj anteni dolazi do vektorskog sumiranja direktnog EMT i reflektovanog EMT. Zavisno od reflektovanog EMT rezultujuće polje na prijemu imaće veću ili manju vrednost, odnosno rezultujuće polje na prijemu će varirati. Reflektovani EMT predstavlja kopiju direktnog EMT samo što je fazno zakašnjen u odnosu na direktni EMT. Vreme kašnjenja odgovara razlici u pređenom putu između direktnog i reflektovanog EMT. Prema karakteristici slabljenja usled refleksije, slabljenje usled refleksije je nepovoljno za fazna kašnjenja od  $0^{\circ}$ – $30^{\circ}$  i od  $150^{\circ}$ – $180^{\circ}$ . Slabljenje usled refleksije ima pozitivan efekat za fazna kašnjenja od  $30^{\circ}$ – $150^{\circ}$ .

Na slici 13 prikazan je slučaj refleksije pri faznom kašnjenju reflektovanog EMT u odnosu na direktni EMT za ugao  $\theta = 10^{\circ}$ . Snaga EM polja na prijemu je opala, a poslani digitalni signal se znatno razlikuje od primljenog signala, čime je BER veći od dozvoljenog. S obzirom na to da je slabljenje usled refleksije izraženo pri ovim vrednostima faznog kašnjenja dobijeni rezultat je očekivani i u skladu je sa teorijskim razmatranjima efekata sredine na prostiranje EMT kod digitalnih radio-relejnih veza.

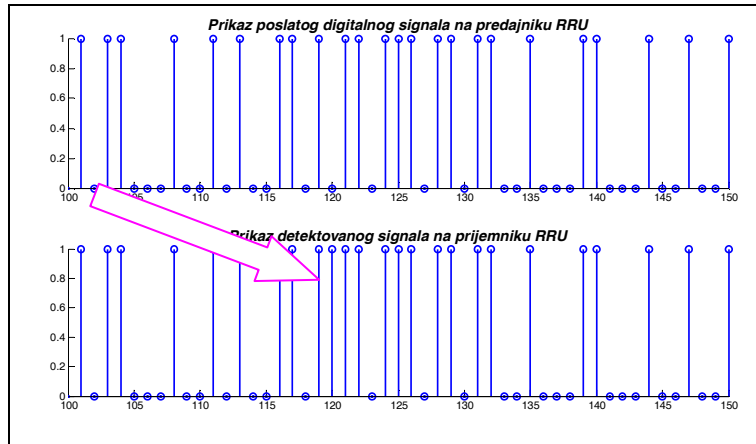
Na slici 14 povećana je vrednost faznog ugla, tako da je  $\theta = 60^{\circ}$ , čime je smanjeno slabljenje usled refleksije. Vektorska suma direktnog i reflektovanog EMT povećala je snagu rezultujućeg EM polja na prijemu, čime je greška usled refleksije znatno smanjena. Poslati i primljeni signal su slični.

Kao što se vidi, refleksija može imati pozitivan karakter, ali je treba izbegavati. Pri odabiru terena treba izabrati takvu lokaciju za postavljanje RRU GRC 408E da se izbegne postojanje refleksije između predajne i prijemne antene RRU. Ako se refleksija ne može izbeći, treba birati tačku refleksije gde je teren neravan kako bi reflektovani EMT bio rasut, čime se smanjuje njegov uticaj na rezultujuće EM polje u prijemnoj anteni.



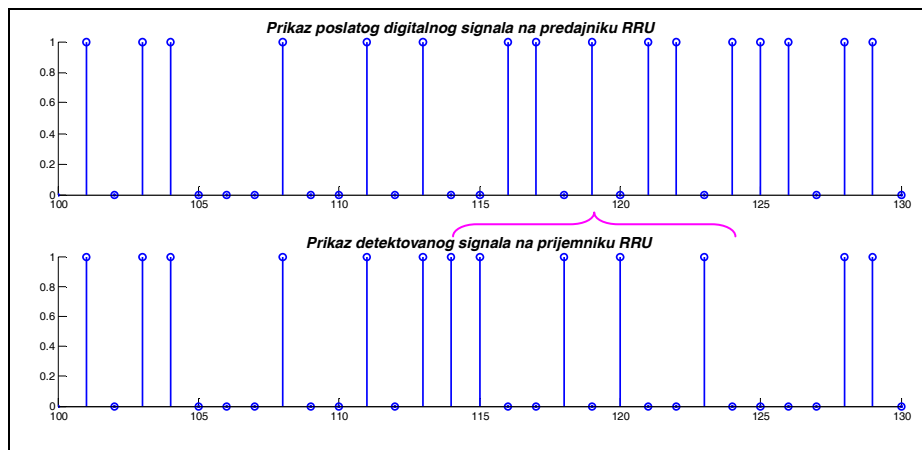
Slika 13 – Prikaz poslatog i primljenog signala za slučaj refleksije pri  $\theta = 10^{\circ}$





Slika 14 – Prikaz poslatog i primljenog signala za slučaj refleksije pri  $\theta = 60^\circ$

Na slici 15 prikazan je izgled poslatog i primljenog digitalnog signala za slučaj kada na prijemnoj anteni rezultujuće EM polja varira, odnosno na prijemnoj anteni RRU imamo feding. To može biti čest slučaj u praksi ako se ne izabere dobra lokacija za postavljanje RRU GRC 408 E. Modelovan je slučaj kada na prijemnoj anteni sumarno EM polje nastaje kao suma jednog direktnog EMT i tri indirektna EMT (1 reflektovani od tla, 1 reflektovani od atmosfere i 1 refraktovan). Indirektni EMT dolaze pod različitim uglovima na prijemnu antenu i promjenjivog su intenziteta, čineći da se rezultujuće EM polje na prijemnoj anteni menja. Rezultujuće EM polje na prijemnoj anteni uzrokuje grešku u prenosu digitalnog signala, odnosno da je  $BER > 10^{-6}$ .



Slika 15 – Prikaz poslatog i primljenog signala za slučaj fedinga

Verovatnoća ravnog fedinga dobija se računskim putem koristeći izraze za verovatnoću ravnog fedinga (7) [9].

Tabela 1

Proračun verovatnoće ravnog fedinga

PARAMETRI	VREDNOST
Frekvencija (GHz)	2,5
Rastojanje d (km)	30
Izlazna snaga (dBm)	36
Pojačanje antene (dBi)	25
Slabljenje u slobodnom prostoru (dB)	129,95
Tolerancija slabljenja (dB)	1
Prag prijema za BER > 10 <sup>-6</sup>	-86
Nivo signala na ulazu u prijemnik u odsustvu fedinga (dBm)	-44,95
Rezerva za feding za BER = 10 <sup>-6</sup>	41,05
Talasnost terena (m)	42
Geoklimatski faktor	1,629 · 10 <sup>-7</sup>
Faktor pojave fedinga	0,01099
Verovatnoća ravnog fedinga (%)	0,01909

## Zaključak

U radu su prikazani rezultati analize uticaja sredine na prostiranje EMT kod digitalnih RRU GRC 408E. Izvršeno je modelovanje situacija koje se najčešće sreću u praksi i pri tome su korišćeni deklarirani parametri RRU GRC 408 E, koje je propisao proizvođač.

Kako je pristup oceni kvaliteta prenosa signala i analiza uticaja sredine na prostiranje EMT kod digitalnih RR veza drugačiji od onog kod analognih RR veza, rezultati dobijeni modelovanjem različitih efekata sredine na prostiranje EMT biće korisni za projektante pri izradi glavnog projekta sistema veza u VS, za poslužioce digitalnih radio-relejnih sistema, kako pri izradi profila deonice (trase), tako i pri odabiru terena za postavljanje i puštanje sistema u rad.

U perspektivi je da se izvrši modelovanje uticaja sredine na prostiranje EMT kod digitalnih radio-relejnih uređaja GRC 408E/34, koji se, takođe, uvode u operativnu upotrebu u VS, i koji rade u višem frekventnom opsegu i pri brzini protoka podataka od oko 34 Mbit/s, pri kojoj se ispoljava efekat sredine u obliku selektivnog fedinga. Takođe, od interesa je da se kod ovih uređaja analizira efekat uticaja sredine u obliku apsorpcije.

### Literatura

- [1] Surutka, J.: *Elektromagnetika*, Akademska misao, Beograd, 2006.
- [2] Čosović, D.: *Priručnik za planiranje i projektovanje digitalnih radio-relejnih veza*, Vojnoizdavački zavod Beograd, 2008.

- [3] Todorović, B.: *Radio-relejna tehnika*, Vojnoizdavački zavod Beograd, 2002.
- [4] Šunjevarić, M.: *Radiogoniometrija*, VINC, Beograd, 1991.
- [5] Lazarević, M.: *Prostiranje elektromagnetnih talasa kod digitalnih radio-relejnih veza*, GŠVSCG, Uprava za školstvo i obuku - Vojna akademija, Beograd, 2003.
- [6] Tadiran, *Originalna tehnička dokumentacija za IV nivo održavanja*.
- [7] Radonjić, V.: *Analiza interferometarskih metoda fazne interferometrije*, Specijalistički rad, Tehnički fakultet Čačak, 2005.
- [8] Šunjevarić, M., Radonjić, V.: *Analiza faznih metoda radio-goniometrije u uslovima realnog okruženja*, ETRAN 98, 1998.
- [9] *Uputstvo o projektovanju digitalnih radio-relejnih sistema*, Zajednica JPPT, Br. 021□925/1, Beograd, 1990.

#### EFFECT OF ENVIRONMENT ON THE PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC WAVES IN GRC 408E DIGITAL RADIO-RELAY DEVICES

##### Summary:

*Quality transmission of digital signals from a transmitting radio-relay device to a receiving one depends on the impact of environmental effects on the propagation of electromagnetic waves. In this paper some of the most important effects are explained and modeled, especially those characteristic for the frequency range within which the GRC 408E operates. The modeling resulted in the conclusions about the quality of transmission of digital signals in the GRC 408E radio-relay equipment.*

##### Propagation of electromagnetic waves

*A radio-relay link is achieved by direct electromagnetic waves, provided there is a line of sight between the transmitting and receiving antenna of a radio-relay device. Electromagnetic waves on the road are exposed to various environmental influences causing phenomena such as bending, reflection, refraction, absorption and multiple propagation. Due to these environmental effects, the quality of information transmission is not satisfactory and a radio-relay link is not reliable.*

*The approach to the analysis of the quality of links in digital radio-relay devices is different from the one in analog radio-relay devices. Therefore, the quality is seen through errors in the received bit (BER), the propagation conditions are taken into account, a reservation for the fading is determined by other means, etc..*

*Phenomena which accompany the propagation of electromagnetic waves in digital radio-relay links*

*The propagation of direct EM waves is followed by the following phenomena:*

- attenuation due to propagation,*
- diffraction (changing table),*
- refraction (refraction),*
- reflection (refusing),*
- absorption (absorption) and*
- multiple wave propagation.*

*Each of these has a negative effect on the quality of the received signal at the receiving antenna of the radio-relay device.*

Attenuation due to propagation of electromagnetic waves

*The main parameter for evaluating the quality of radio-relay links is the level of the field at the reception, i.e. the strength of a signal received at the entrance of the receiver. The error in the received bit (BER) is a function of the receiving field. By reducing the level of the field the BER increases and vice versa.*

*The level of the receiving field in the absence of margin is called the nominal level of the receiving field. The difference between the nominal level and the receiving threshold represents a margin or a budget for the fading for the given BER.*

Diffraction

*Diffraction is a phenomenon that follows the propagation of electromagnetic waves and indicates their ability to bend round the relief, uneven surfaces and other obstacles, during propagation through the environment. Diffraction is considered when the obstacles on the path of propagation of electromagnetic waves enter the first Fresnel zone, because then an error in the information transmission occurs.*

Refraction

*Refraction is the refraction of electromagnetic waves in the lower layers of the atmosphere and is caused by its unhomogeneity. The upper part of the EM wave front progresses faster and the wave bends towards the Earth. The phenomenon of EM wave bending towards the Earth is called refraction.*

Reflection

*When electromagnetic waves propagate near the Earth surface, a part of the wave front, reflected from the surface of the Earth, may arrive in the receiving antenna of radio relay equipment together with direct electromagnetic waves. EM waves (direct and reflected) are summed up vectorially in the receiver giving the resulting EM wave. This can cause a substantial reduction in the resulting field when compared to the field in ideal conditions, which leads to the error increase.*

### Absorption

*Absorption or EM wave absorption occurs in all frequency bands and signifies a higher or lower level of attenuation of electromagnetic waves. It is taken into consideration in digital radio-relay devices which operate in the frequency range over 7 GHz.*

### Multiple propagation of electromagnetic waves

*EM waves from the transmitter can reach the receiver in different ways, and such EMW propagation is known as multiple EM wave propagation in the literature. The result of multiple propagation can be the reduction of the EM field intensity or its complete disappearance. This phenomenon is called fading.*

### Fading

*Fading is caused by short-term weakening of electromagnetic waves at the reception. During EMW propagation, the interaction between EM waves and objects occurs resulting in multiple copies of useful signals of different amplitude and delay values at the reception point, thus making the resulting EM field unstable. A large number of copies of the useful signal at the reception are caused by the effects of environmental impacts on the propagation of electromagnetic waves along the route, such as reflection, refraction, diffraction, and their combination.*

*The total loss is equal to the sum of propagation weakening and fading weakening. Fading is divided into propagation fading and interference fading. Propagation fading is generally slow and does not depend on frequency. Interference fading occurs due to the appearance of multiple EM wave propagation and it can be flat or selective. Flat fading is the same in the entire frequency range. In selective fading there is degradation of basic signals, i.e. Intersymbol interference which is present at RR devices operating at higher frequencies with the data flow around 34 MBit/s and over.*

### Model of the radio-relay system and the results of modeling

*The paper deals with a model as the one given in Fig. 2 The GRC 408E RR devices are supposed to be built into mobile call centers. The following phenomena are modeled: attenuation due to propagation, diffraction, reflection and fading. Each phenomenon is modeled for typical cases. The input signal in the GRC RR 408E device is a random binary sequence, modulated by a modulation device provided by the RR. Such a signal propagates through the particular medium towards the RR device receiving antenna. At the reception point, the transmitted and the received signal are compared in order to find an error due to the influence of some of the modeled phenomena. The modeling results are presented graphically for different effects of environmental impacts on the propagation of EM waves in RR digital devices. The graphs indicate the errors occurred during the propagation of EM waves.*

## Conclusion

*Modeling the impact of environment on the propagation of EM waves in RR digital devices can show the influence of environment on the propagation of EM waves, as well as on the quality of transmission signals. The conclusion is that the choice of the terrain for setting a mobile communication center is essential for high-quality signal transmission. For high-quality transmission of digital signals in RR devices, another requirement is also important and that is the requirement for the line-of-sight transmission and free first Fresnel zone. While in analog RR devices the conditions of EMW propagation are not a key factor in calculating the quality of communication, the results of modeling show that the conditions of propagation in digital RR devices are an important factor in the calculation of the quality of communication. The obtained results are useful for modeling RR devices in mobile communication centers and for engineers working on the main design of communication systems in the Serbian Army. The next aim is to model the impact of environment on the propagation of EM waves in GRC RR 408E/34 digital devices which operate within a higher frequency range and at higher data flow speeds.*

*Key words: electromagnetic waves, radio-relay devices, the error in the received bit, phenomena accompanying the propagation, environmental effects*

Datum prijema članka: 02. 04. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 27. 04. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 29. 04. 2010.