



## LTE FDD IR SRD ĮRENGINIŲ SUDERINAMUMAS 2500 MHz Ruožė

Evaldas Stankevičius

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas [evaldas.stankevicius@vgtu.lt](mailto:evaldas.stankevicius@vgtu.lt)

**Santrauka.** Nagrinėjamas LTE mobiliojo ryšio bazinių stočių galimas interferencinis poveikis nedidelio veikimo nuotolio įrenginiams. LTE tinklas veikia 2500–2690 MHz dažnių ruožė, naudojamas dažninis kanalų dalijimas. Žemynkrypčiai kanalai, priskiriami bazinėms stotims, formuojami 2620–2680 MHz ruožė, aukštynkrypčiai kanalai, priskiriami mobiliosioms stotims, formuojami 2500–2560 MHz ruožė. Trumpojo veikimo nuotolio įrenginiai veikia 2400–2483,5 MHz dažnių ruožė. Pagrindinė šio tyrimo problema – galima interferencija ir jos mastas. Realus įrenginių veikimas modeliuojamas dvejomis skirtingomis programomis, kurios skirtos elektromagnetiniam suderinamumui tirti: ICS Telecom ir Seamcat.

**Reikšminiai žodžiai:** LTE, FDD, SRD, RLAN, WLAN, gretimų kanalų interferencija.

### Įvadas

Šiuo metu pasaulyje ir Lietuvoje labai sparčiai plečiasi mobiliojo ryšio tinklai. Jiems reikia vis daugiau radijo ryšio dažnių resursų. Be to, atsiranda naujų mobiliojo ryšio sistemų. Viena iš tokių sistemų – LTE mobilusis ryšys, veikiantis 2,6 GHz ruožė. LTE 2600 MHz tinklas daugelyje Europos valstybių dar tik pradamas formuoti.

Atsiradus naujai mobiliojo ryšio sistemai, reikia iširti, kokią įtaką ji darys kitoms, jau veikiančioms, radijo ryšio sistemoms. LTE stotys veikia licencijuotame dažnių ruožė, todėl leistinos spinduliuojamos galios yra santykinai didelės. Lietuvoje LTE veikia 2500–2690 MHz dažnių ruožė. Šis ruožas yra artimas nelicencijuotam nedidelio veikimo nuotolio įrenginių 2400,0–2483,5 MHz dažnių ruožui, kuris dar vadinamas ISM (angl. *Industrial, Scientific, Medical*).

Trumpojo veikimo nuotolio įrenginiai, dirbantys šiame ruožė, yra bevielio ryšio interneto prieigos taškai – WLAN AP (angl. *Wireless Local Area Network Access Point*). Jų buvimo vieta yra nuspėjama, jie gali atsirasti labai arti LTE bazinių stočių.

Darbe nagrinėjamas LTE bazinių stočių poveikis trumpojo veikimo nuotolio įrenginiams, nes be tokių tyrimų gali atsirasti WLAN tinklo sutrikimų. LTE bazinių stočių poveikis WLAN įrenginiams gali būti juntamas kaip šalutinė spinduliuotė, kuri gali padidinti bitų klaidų tankį (BER), padidinti imtuvų jautrumo ribą.

### Panašūs tyrimai

LTE 2600 MHz yra labai sparčiai populiarėjanti mobiliojo ryšio technologija. Atlikta nemažai tyrimų, kurie padeda atskleisti LTE suderinamumo galimybes su kitomis, jau veikiančiomis, radijo ryšio technologijomis.

Publikuotoje CEPT ataskaitoje (ECC Report 172 2012) analizuojamos radijo ryšio sistemų elektromagnetinio suderinamumo problemos 2300–2400 MHz ruožė ir aplink jį. Visais atvejais tiriamoji sistema yra LTE. Darbe nagrinėjama atvejį atitinka tyrimas, aprašytas šios ataskaitos skyriuje „*Sharing scenarios above 2400 MHz*“. Jame nagrinėjamas LTE poveikis WLAN ir *Bluetooth* sistemoms. Tyrimo metu gauta, kad interferencijos tikimybė svyruoja nuo 0 % iki 82 % (priklausomai nuo LTE tinklo konfigūracijos ir naudojamo kanalo). Tačiau nagrinėjama atveju situacija skirtinga, nes LTE veikia 2500–2690 MHz ruožė.

Darbe (Konrad *et al.* 2006) pateikiamos UMTS ir *Bluetooth* elektromagnetinio suderinamumo galimybės. UMTS sistema veikia 2500–2690 MHz ruožė, *Bluetooth* – ISM ruožė. Nagrinėjama, ar *Bluetooth* įrenginys gali paveikti UMTS mobilųjį telefoną. Darbe aptariamos įvairios situacijos, kurios leidžia tinkamai įvertinti interferencinį poveikį. Tyrimo metu UMTS sistema nagrinėta, kai ji veikia normaliu režimu. Nėra tyrimų, kai UMTS mobilioji stotis veikia ties aprėpties zonos riba, kai spinduliuojama maksimali galia.

Tyrimė (Baghel *et al.* 2011), atliktame Indijoje *Samsung India Software Operations Pvt. Ltd.*, aptariamos LTE ir WiFi bei *Bluetooth* ir GNSS suderinamumo problemos. Čia aprašomas LTE TDD technologijos veikimas viename įrenginyje, kuriame taikomos ir kitos technologijos, daug dėmesio skiriama sinchronizacijos problemoms. Tyrimo rezultatai bendrais bruožais nusako, kad LTE TDD sistemos gali daryti įtaką ISM įrenginiams 2500 MHz ruože.

Remiantis panašių tyrimų analize galima daryti prielaidą, kad šia tema neanalizuota LTE bazinių stočių, veikiančių 2600 MHz ruože, situacija, neištirtas poveikis WLAN įrenginiams, veikiantiems ISM ruože. Darbe detaliau išanalizuotos minėtos elektromagnetinio suderinamumo situacijos.

### Tyrimo metodika

Remiantis panašių tyrimų analize, bus taikoma blogiausios situacijos metodika, kai imitacijos metu susidaro blogiausia galima situacija tarp LTE bazinės stoties (BS) ir WLAN įrenginio. Šiuo atveju LTE BS spinduliuoja maksimalią (EIRP) galią, WLAN įrenginys veikia ties imtuvo jautrumo riba, nuotolis tarp LTE BS ir WLAN įrenginio minimalus. Ši metodika taikoma daugelyje elektromagnetinio suderinamumo uždavinių, nes leidžia atskleisti problemines situacijas.

### LTE ir SRD įrenginio charakteristikos

LTE BS parametrai parinkti remiantis šaltiniu (ECC Report 172 2012). Tipinių LTE tinklo bazinių stočių parametrai pateikti 1 lentelėje.

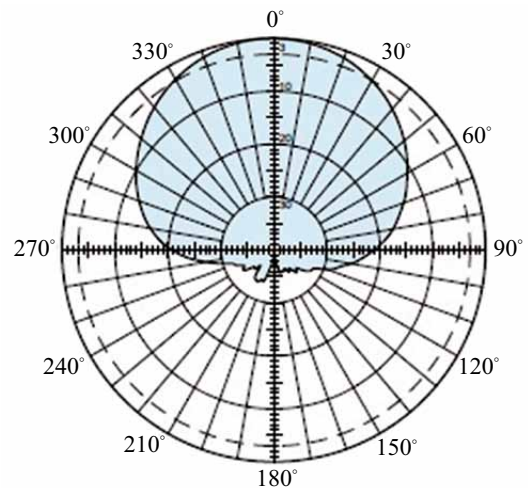
1 lentelė. LTE charakteristikos

Table 1. LTE characteristics

Pavadinimas	Vertė
Dažnis	Aukštynkryptis: 2500–2560 MHz Žemynkryptis: 2620–2680 MHz
Kanalo plotis	20 MHz
Antenos aukštis	30 ir 5 m
Galia	60 ir 10 dBm

Išorinė BS apibūdinama 30 m aukščio antena ir 60 dBm spinduliuojama galia, vidinė BS apibūdinama 5 m antenos aukščiu ir 10 dBm spinduliuojama galia. Tyrimo metu LTE BS visais atvejais veikė 2610 MHz dažniu. WLAN įrenginys veikia 2472 MHz dažniu. Taigi dažninis atskyrimas yra 138 MHz.

LTE BS naudojama sektorinė antena (1 pav.) parinkus 65° horizontalaus lapelio plotį. Antenos stiprinimas siekia iki 18 dBi.



1 pav. LTE antenos diagrama

Fig. 1. LTE antenna pattern

Trumpojo veikimo nuotolių įrenginių parametrai apibrėžiami ERC rekomendacijos 70-03 priede Nr. 3 (ERC recommendation 70-03 2012). 2 lentelėje pateikti tipiniai WLAN imtuvo parametrai.

Tyrimo metu laikyta, kad įrenginys veikia jautrumo ribos lygyje – 92 dBm 13 kanale, kuris yra arčiausiai LTE 2600 MHz. Šiuo pasirinkimu stengiamasi imituoti blogiausios situacijos scenarijų.

2 lentelė. WLAN įrenginio charakteristikos

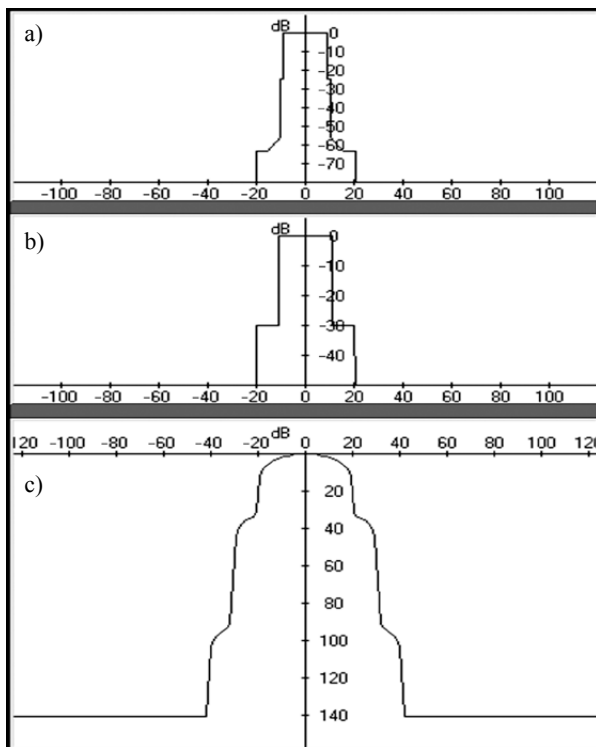
Table 2. WLAN equipment characteristics

Pavadinimas	Vertė
Dažnis	2472 MHz
Antenos aukštis	8,1 m
Galia	20 dBm
Kanalo plotis	20 MHz
Imtuvo triukšmų lygis (NF)	10 dB
Antenos stipris	2 dBi
Imtuvo šiluminis triukšmas (No)	-102 dBm
Jautrumas (N) = No + NF	-92 dBm

WLAN įrenginio darbas gali sutrikti veikiant LTE BS šalutinei spinduliuotei. Taigi svarbios charakteristikos yra įrenginių spektrinės diagramos (2 pav.).

2 pav., a, pateikta WLAN įrenginio, o 2 pav., b, pateikta LTE BS spektrinė diagrama. 2 pav., c, pateiktas bendras spektrinių diagramų sutapimo rezultatas, kuris vadinamas NFD (angl. *Net Filter Discrimination*) spektrine diagrama. Jos gavimas iliustruojamas 3 pav.

NFD spektrinė diagrama rodo, kokia siųstuvo signalo energijos dalis patenka į imtuvą. Šiuo atveju LTE BS filtro slopinimas ties artimiausiu ISM kanalu siekia ~80 dB.

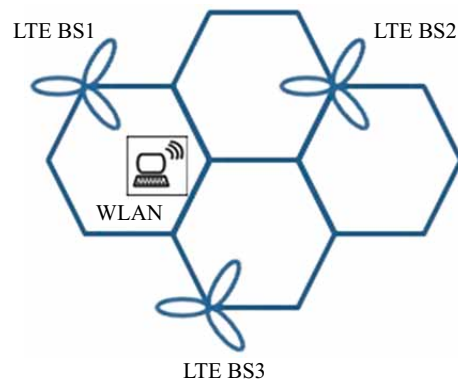


2 pav. LTE ir WLAN įrenginių spektrinės diagramos  
Fig. 2. LTE and WLAN equipment spectrograms

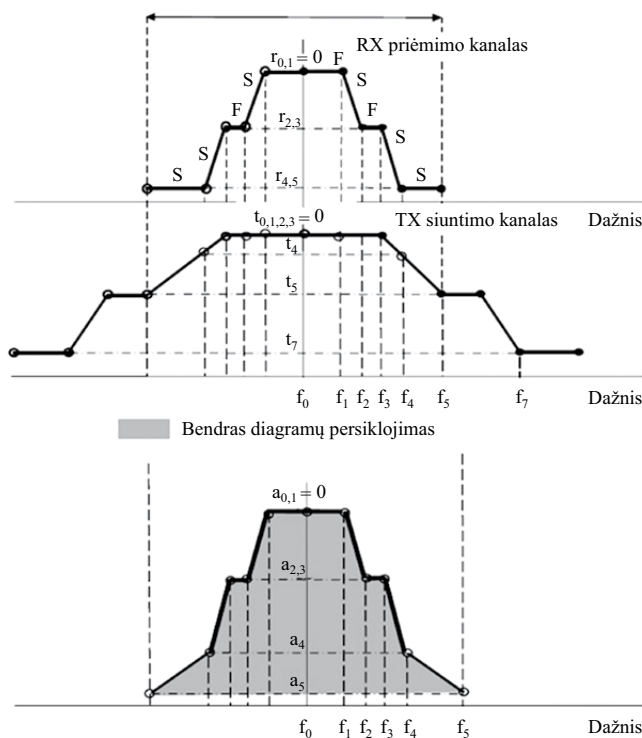
### Tiriama situacija

Analizuojant LTE stoties poveikį buvo naudotos SEAMCAT ir ICS *Telecom* programinės įrangos. Jose buvo modeliuojamas trijų LTE stočių tinklas (4 pav.). WLAN stotis pastatyta prieš vieną iš LTE BS antenos sektorių 0,01; 0,2; 0,5; 1; 1,5 ir 2 km atstumu. Tokie atstumai parinkti siekiant, kad WLAN įrenginys patirtų kuo stipresnį trukdį iš LTE BS – taip kuriamas blogiausios situacijos atvejis.

Naudojant SEAMCAT programinę įrangą buvo sukurtas mini LTE BS tinklas. Atsitiktinai generuojama 20 000 LTE BS aplink WLAN įrenginį. LTE celės aprėpties zona siekia 2 km, WLAN įrenginys atsitiktinai pastatomas 2 km spinduliu nuo LTE BS. ICS *Telecom* atveju atstumas tarp LTE BS ir WLAN kiekvieno matavimo atveju parenkamas atskirai.



4 pav. Matavimo situacija  
Fig. 4. Measuring situation



3 pav. Imtuvo priimama energija (ETSI TR 101 854 rec. 2000)  
Fig. 3. Energy taken by the receiver  
(ETSI TR 101 854 rec. 2000)

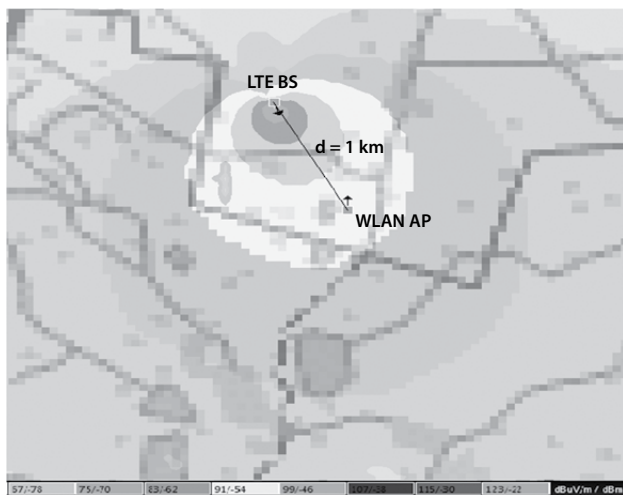
Modeliuojant su ICS *Telecom* naudoti realūs Lietuvos paviršiaus žemėlapiai – 50 m rezoliucijos paviršiaus ir paviršiaus tipo žemėlapiai. Skirtingas paviršiaus tipas (vanduo, miškas, tankiai arba retai apgyvendintos teritorijos) skirtingai slopina tam tikro dažnio radijo bangas.

SEAMCAT programa nenaudoja realių paviršiaus žemėlapių, tačiau siekiant patvirtinti gautų rezultatų patikimumą, bus atlikti modeliavimai ir taikant ją.

### Modeliavimo rezultatai taikant ICS *Telecom* 11.0

5 pav. parodyta modeliuojama situacija – LTE BS stoties aprėptis. LTE veikia maksimalia 60 dBm galia, antena yra 30 m aukštyje. WLAN įrenginys veikia nutolęs 1 km, antena yra 8 m aukštyje.

Aprėptis gauta taikant sklidimo modelį – ITU-R P-1546 parinkus 50 % vietos tikimybę ir 10 % laiko tikimybę. Matome, kad LTE sukuria stiprų elektromagnetinį lauką. WLAN stoties aukštyje elektromagnetinio lauko lygis siekia -54 dBm.



5 pav. LTE aprėptis 8 m aukštyje  
Fig. 5. LTE coverage at 8 m height

3 lentelėje pateikti modeliavimo rezultatai, iš kurių matome, kad LTE BS spinduliuojamas elektromagnetinis laukas neviršija WLAN įrenginio minimalios jautrumo ribos. Modeliavimo rezultatai leidžia teigti, kad modeliuojamos situacijos atveju interferencijos tikimybės nėra.

3 lentelė. Modeliavimo rezultatai taikant ICS Telecom  
Table 3. Modelling results with ICS Telecom

LTE antenos aukštis, m	LTE EIRP, dBm	WLAN padėtis	WLAN antenos aukštis, m	Interferencijos lygis, dB
30	60	išorėje	8	0
30	60	viduje	1	0

### Modeliavimo rezultatai taikant SEAMCAT 4.0.0

4 lentelėje pateikti modeliavimo rezultatai taikant SEMCAT 4.0.0 programinę įrangą. Matyti, kad, kai WLAN įrenginys naudoja 1 m anteną, interferencijos nėra. Kai WLAN įrenginio antenos aukštis siekia 8 m, interferencijos tikimybė siekia 0,04 %. Tai nedidelė tikimybė, bet vis dėlto leidžia teigti, kad WLAN įrenginys gali patirti interferencinį poveikį iš LTE bazinės stoties.

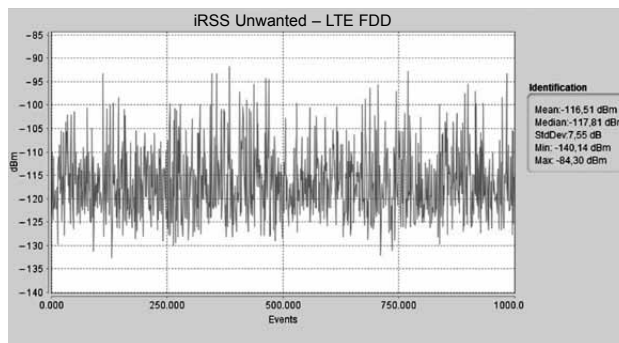
4 lentelė. Modeliavimo rezultatai taikant SEAMCAT  
Table 4. Modelling results with SEAMCAT

LTE antenos aukštis, m	LTE EIRP, dBm	WLAN padėtis	WLAN antenos aukštis, m	Interferencijos tikimybė, %
30	60	išorėje	8	0,04
30	60	viduje	1	0

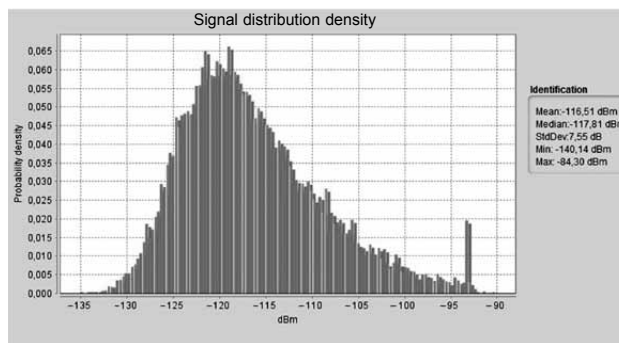
6 ir 7 pav. pateikta informacija apie priimamus signalo lygius abiejose tirtose situacijose – kai WLAN įrenginio antenos aukštis 8 ir 1 m. 6 pav. parodyta trukdančio signalo lygio reikšmės nuo 1 iki 1000 simuliacijų, kai WLAN įrenginio antenos aukštis 8 m. Šis procesas yra stacionarus, taigi ši iškarpa atspindi visas 20 000 simuliacijų reikšmes.

Modeliuojant laikoma, kad interferencinis poveikis pasireiškia tada, kai viršijama WLAN imtuvo jautrumo riba. Matome, kad signalas kinta nuo  $-84,3$  dBm iki  $-140,14$  dBm. Vadinasi, tam tikrais atvejais viršijama jautrumo riba, bet tai sudaro tik 0,04 % interferencijos tikimybės. Tokia interferencijos tikimybė nėra didelė.

7 pav. parodyta, kokio lygio signalai pasitaiko dažniausiai. Dažniausiai WLAN imtuvas priima signalo lygius nuo  $-115$  dBm iki  $-125$  dBm. Toks signalo lygis nesukelia interferencinių trukdžių.

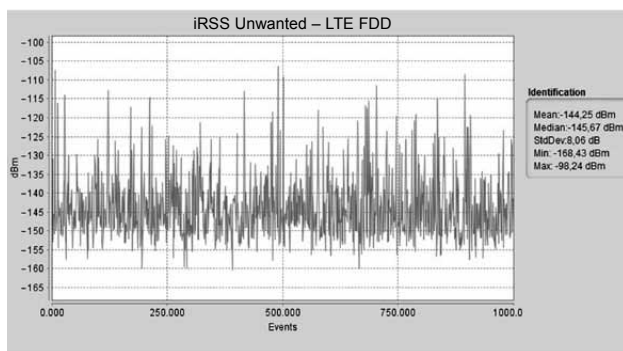


6 pav. Trukdančio signalo lygis  
Fig. 6. Level of unwanted signal



7 pav. Trukdančio signalo pasiskirstymas  
Fig. 7. Unwanted signal distribution

8 pav. parodyta trukdančio signalo lygio vertės nuo 1 iki 1000 imitacijų, kai WLAN įrenginio antenos aukštis 1 m. Kadangi procesas stacionarus, tai ši iškarpa apibūdina visas 20 000 imitacijų.

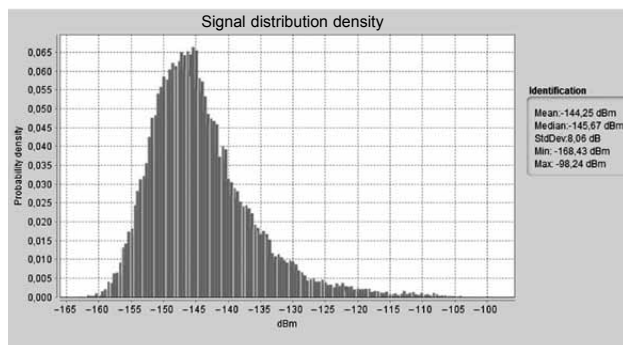


8 pav. Trukdančio signalo pasiskirstymas I

Fig. 8. Unwanted signal distribution I

Modeliuojant laikoma, kad interferencinis poveikis pasireiškia tada, kai viršijama WLAN imtuvo jautrumo riba. Matome, kad signalas kinta nuo  $-98,24$  dBm iki  $-168,43$  dBm. Tokie signalų lygiai neviršija WLAN imtuvo jautrumo ribos.

9 pav. parodyta, kokio lygio signalai pasitaiko dažniausiai. Dažniausiai WLAN imtuvas priima signalo lygius nuo  $-140$  dBm iki  $-155$  dBm. Toks signalo lygis nesukelia interferencinių trukdžių.



9 pav. Trukdančio signalo pasiskirstymas I

Fig. 9. Unwanted signal distribution I

Taigi atlikus imitacijas taikant SEAMCAT galima teigti, kad modeliuojamose situacijose (3 ir 4 lentelės) interferencijos tikimybė yra labai maža arba jos išvis nėra.

## Išvados

1. Atlikus imitacijas taikant ICS *Telecom* programinę įrangą ir naudojant įrenginius, kurių parametrai atitinka rekomenduojamas tipines vertes, galima teigti, kad modeliuojamose situacijose interferencijos tikimybės nėra.
2. Atlikus tokias pačias imitacijas taikant SEAMCAT programinę įrangą gauta, kad modeliuojamose situacijose interferencijos tikimybė yra labai maža arba jos

išvis nėra. 0,04 % interferencijos tikimybė pastebėta, kai WLAN imtuvo antenos aukštis yra 8 m. Kai WLAN imtuvo antenos aukštis tėra 1 m, interferencijos nepastebėta. Tai galima paaiškinti tuo, kad LTE stoties poveikį neutralizavo pastatų slopinimas.

3. Remiantis atliktų tyrimų rezultatais galima teigti, kad LTE stotys netrukdo WLAN įrenginiams. Gauti rezultatai dera su panašių tyrimų rezultatais, kurie rodo, kad esant 134 MHz dažniam atskyrimui tarp LTE BS ir WLAN imtuvo galima užtikrinti patikimą trumpojo veikimo nuotolio įrenginių darbą.

## Literatūra

- Baghel, S. K.; Ingale, M.; Goyal, G. 2011. Coexistence Possibilities of LTE with ISM Technologies and GNSS, in *National Conference on Communications*, 28–30 January, 2011, Bangalore, India, 1–5.  
<http://dx.doi.org/10.1109/NCC.2011.5734742>
- ECC Report 172. *Broadband wireless systems usage in 2300–2400 MHz*. 2012. 93 p.
- ERC Recommendation 70-03. *Relating to the use of short range devices (SRD)*. Version 7. 2012. 60 p.
- ETSI TR 101 854 Recommendation. *Fixed radio systems. Point-to-point equipment*. 2000. 19 p.
- Konrad, M.; Koch, W.; Huschke, J. 2006. Coexistence analysis of bluetooth and cellular UMTS in the 2500–2690 MHz band, in *Wireless Communications and Networking Conference, WCNC*, 3–6 April, 2006, Las Vegas, 1245–1249.  
<http://dx.doi.org/10.1109/WCNC.2006.1696464>

## LTE FDD AND SRD EQUIPMENT COMPATIBILITY IN 2500 MHz BAND

E. Stankevičius

Abstract

This paper examines the LTE mobile communication base stations possible interfering effects on short range communication devices operating in ISM frequency band. LTE network is running in 2500–2690 MHz frequency band, where frequency channel distribution is used. Downlink channels are assigned to base stations and formed in 2620–2680 MHz band, uplink channels are assigned to mobile stations and formed in 2500–2560 MHz band. Short range communication devices operate in 2400–2483.5 MHz frequency range. The main problem of this study – the interference probability and magnitude. Real equipment was simulated using two different modelling software systems for investigation of electromagnetic compatibility: ICS Telecom and Seamcat. The modelling results show that LTE BS have minimum or no impact on operation of short range communication devices in ISM frequency band.

**Keywords:** LTE, FDD, SRD, RLAN, WLAN, adjacent interference.