



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

TELEKOMUNIKACIJŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Justinas JAVOROVIČIUS

TECHNO-EKONOMINIS VoIP PASLAUGŲ LTE TINKLE TYRIMAS
TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF VoIP IN LTE NETWORK

Baigiamasis magistro darbas

Elektronikos inžinerijos studijų kryptis

Telekomunikacijų inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H64003

Telekomunikacijų vadybos specializacija

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
TELEKOMUNIKACIJŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

doc. dr. A. Medeišis

(Data)

Justinas JAVOROVIČIUS

TECHNO – EKONOMINIS VoIP PASLAUGŲ LTE TINKLE TYRIMAS
TECHNO – ECONOMIC ANALYSIS OF VoIP IN LTE NETWORK

Baigiamasis magistro darbas

Elektronikos inžinerijos studijų kryptis

Telekomunikacijų inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H64003

Telekomunikacijų vadybos specializacija

Vadovas doc. dr. Artūras Medeišis

(Parašas)

(Data)

Konsultantas lek. Vaida Buivydienė

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2014

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Elektronikos fakultetas
Telekomunikacijų inžinerijos katedra

ISBN
ISSN
Egz. sk.
Data-....-....

Antrosios pakopos studijų **Telekomunikacijų inžinerijos** programos baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Techno-ekonominis VoIP paslaugų LTE tinkle tyrimas**

Autorius **Justinas Javorovičius**

Vadovas **doc. dr. Artūras Medeišis**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe apžvelgta LTE technologijos taikymo VoIP paslaugų teikimui problematika, naudojant LTE tinklą kaip pernašos paslaugą ir prieigą prie interneto. Išnagrinėtos VoIP paslaugų teikimo galimybės, naudojant LTE technologijos prieigą. Atlikti VoIP paslaugų kokybės vertinimai naudojant skirtingus kodekus. Ištirtos ir išnagrinėtos galimybės teikti mobiliąsias VoIP paslaugas, naudojant LTE technologiją. Pagal gautus tyrimų rezultatus nuspręsta, kad galima teikti VoIP paslaugas, naudojant LTE technologiją. Atlikta kelių pasirinktų projekto modelių atsipirkimo ekonominė analizė, naudojant LTE technologiją VoIP paslaugų teikimui. Atlikta SSGG analizė, aptartos šių projekto modelių įgyvendinimo stiprybės, silpnybės, galimybės ir grėsmės.

Darbą sudaro 5 dalys: įvadas ir užduoties analizė, literatūros apžvalga, VoIP paslaugų LTE tinkle kokybės tyrimas, VoIP paslaugų LTE tinkle diegimo techno-ekonominis tyrimas ir rezultatų apibendrinimas.

Darbo apimtis – 51 p. teksto be priedų, 23 iliustracijų, 14 bibliografinių šaltinių.

Prasminiai žodžiai

LTE, VoIP, pernašos paslauga, kaštų – naudos analizė.

Vilnius Gediminas technical university
Faculty of Electronics
Department of Telecommunications
engineering

ISBN
ISSN
Exam. Nr.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Telecommunications engineering** study programme Final Work 4

Title **Techno-economic Analysis of VoIP in LTE Network**
Author **Justinas Javorovičius**
Academic supervisor **doc. dr. Artūras Medeišis**

Thesis language:
Lithuanian

Annotation

In this master thesis is made a review of LTE technology solutions for using VoIP services through the LTE network as a transfer service and internet access. Examined the possibilities of providing VoIP services using LTE technology access. Was made VoIP services quality analysis using different codecs. Was made a research of possibilities for providing mobile VoIP services using LTE technology. According to the results of the research concluded that it is possible to provide VoIP services using LTE technology. Also was made a few selected project models economic payback analysis of the VoIP services providing, using LTE technology. Was made SWOT analysis of the selected project models, were shown strengths, weaknesses, opportunities and threats of these project models.

Structure consists of 5 chapters: the introduction and task analysis, literature review, the VoIP services in LTE network quality analysis, VoIP services in LTE network deployment techno-economic analysis and the generalization of project results.

The project consists of 51 p. of the text without extras, 23 pictures, 14 bibliographical entries.

Keywords

LTE, VoIP, transfer service, cost – benefit analysis.

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Justinas Javorovičius, 20084975

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Telekomunikacijų inžinerijos studijų programa, TEVfm-12

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2014 m. gegužės 10d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema: „*Techno-ekonominis VoIP paslaugų LTE tinkle tyrimas*“ yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotų kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas: doc. dr. A. Medeišis

Konsultantas: lek. Vaida Buivydienė

Kitų asmenų indėlio į baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Justinas Javorovičius

(Parašas)

(Vardas ir pavardė)

TURINYS

1.	ĮVADAS. UŽDUOTIES ANALIZĖ	11
2.	LITERATŪROS APŽVALGA	14
2.1.	LTE technologijos specifikacijos	14
2.1.1.	OFDMA moduliacijos privalumai.....	16
2.1.2.	OFDMA moduliacijos trūkumai.....	16
2.2.	Balso perdavimas taikant LTE technologiją.....	19
2.3.	LTE technologijos ateitis.....	24
3.	VoIP PASLAUGŲ LTE TINKLE KOKYBĖS TYRIMAS.....	28
3.1.	Balso pranešimų perdavimas tarp kompiuterių, naudojant LTE prieigą.....	29
3.2.	Balso pranešimų perdavimo kokybės vertinimas	32
3.3.	Balso pranešimų perdavimo kokybės tyrimas	33
4.	VoIP PASLAUGŲ LTE TINKLE DIEGIMO TECHNO-EKONOMINIS TYRIMAS	46
5.	REZULTATŲ APIBENDRINIMAS	60
	LITERATŪROS IR INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	62

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

2.1 pav. OFDMA moduliacijos ponešlių pasiskirstymas [5]	15
2.2 pav. Vienoje ląstelėje taikomi skirtingi dažniai	18
2.3 pav. Supaprastinta VoLTE veikimo schema [6]	20
2.4 pav. Supaprastinta CSFB veikimo schema [6].....	21
2.5 pav. Supaprastinta SVLTE veikimo schema [6]	22
2.6 pav. Supaprastinta VoLGA veikimo schema [6]	23
2.7 pav. LTE tinklo struktūra taikant mikro ląsteles	26
3.1 pav. Supaprastinta VoIP struktūra.....	28
3.2 pav. Supaprastinta VoIP paslaugų LTE tinkle struktūra.....	29
3.3 pav. Naudojama tinklo schema	30
3.4 pav. <i>PJSUA</i> programos langas, <i>Terminal</i> programos lange.....	30
3.5 pav. Kompiuterio, dirbančio serverio režimu konfigūravimas	31
3.6 pav. Kompiuterio, dirbančio vartotojo režimu konfigūravimas.....	32
3.7 pav. <i>PESQ</i> algoritmo pateiktas perduoto pranešimo kokybės įvertis	33
3.9 pav. MOS skalės įverčių pasiskirstymas didėjimo tvarka, taikant PCMA kodeką.....	35
3.10 pav. MOS skalės įverčių pasiskirstymas didėjimo tvarka, taikant speex kodeką.....	36
3.11 pav. MOS skalės įverčių pasiskirstymas didėjimo tvarka, taikant G 7.22 kodeką	37
3.12 pav. MOS skalės įverčių pasiskirstymas didėjimo tvarka, taikant AMR-NB kodeką	39
3.13 pav. MOS skalės įverčių pasiskirstymas didėjimo tvarka, taikant AMR-WB kodeką	40
3.14 pav. Balso pranešimų perdavimo iš skirtingų taškų žemėlapis.....	43
4.1 pav. Investicijų atsipirkimo grafikas	50
4.2 pav. Pinigų srautų pasiskirstymo grafikas.....	54
4.3 pav. Investicijų atsipirkimo grafikas	55

TEKSTE NAUDOJAMI TRUMPINIAI

AMR	Prisitaikantis daug spartų palaikantis kodekas (angl. <i>Adaptive Multi –Rate</i>);
CDMA	Kodinio dalijimo perdavimo būdas (angl. <i>Code Division Multiple Access</i>);
CSFB	Grandinių komutavimas (angl. <i>Circuit Swiched Fallback</i>)
EDGE	Skaitmeninė mobiliųjų telefonų technologija (angl. <i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i>);
FDD	Dažnio dalinimo dupleksas (angl. <i>Frequency Domain Duplex</i>);
FFT	Greitoji Furje transformacija (angl. <i>Fast Fourier Transform</i>);
FTP	Duomenų perdavimo protokolas (angl. <i>File Transfer Protocol</i>);
GSM	Globalus mobilaus ryšio standartas (angl. <i>Groupe Special Mobile</i>);
HSPA	Didelės spartos paketų perdavimas (angl. <i>High Speed Packet Access</i>);
IP	Interneto protokolas (angl. <i>Internet Protocol</i>);
ITU	Tarptautinė telekomunikacijų bendrija (angl. <i>International Telecommunication Union</i>);
LTE	Mobiliojo ryšio tinklo didelės duomenų perdavimo spartos standartas (angl. <i>Long Term Evolution</i>);
MIMO	Daugybinis įėjimas ir išėjimas (angl. <i>Multiple Input Multiple Output</i>);
MOS	Reikšmės įvertis (angl. <i>Mean Opinion Score</i>);
OFDM	Ortogonalinių dažnių dalijimo multipleksavimas (angl. <i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>);
OFDMA	Ortogonalinių dažnių dalinimo daugkartinė prieiga (angl. <i>Orthogonal Frequency-Division Multiple Access</i>);
OTT	Realaus laiko duomenų perdavimas be interneto tiekėjo paslaugų (angl. <i>Over the Top</i>);
PCM	Impulsinė kodinė moduliacija (angl. <i>Pulse Code Modulation</i>);
SC-FDMA	Vieno nešlio dažnio dalinimo daugkartinė prieiga (angl. <i>Single Carrier Frequency-Division Multiple Access</i>);
SIP	Sesijos inicijavimo protokolas (angl. <i>Session Initiation Protocol</i>);
SVLTE	Balso pranešimų perdavimui LTE tinkle taikomas grandinių komutavimas (angl. <i>Simultaneous Voice and LTE</i>);
TCP	Perdavimų kontrolės protokolas (angl. <i>Transport Control Protocol</i>);
TDD	Laiko dalinimo dupleksas (angl. <i>Time Domain Duplex</i>);
TLS	Transporto lygmens saugos protokolas (angl. <i>Transport Layer Security</i>);
UDP	Vartotojo duomenų perdavimo protokolas (angl. <i>User Datagram Protocol</i>);

UMTS	Universali mobili telekomunikacijų sistema (angl. <i>Universal Mobile Telecommunicatin System</i>);
VoIP	Balso perdavimas IP tinklais (angl. <i>Voice over IP</i>);
VoLGA	Balso pranešimų perdavimas LTE tinklais, prisijungiant prie ankstesnių kartų tinklų (angl. <i>Voice over LTE Generic Access</i>);
VoLTE	Balso perdavimas LTE tinklais (angl. <i>Voice over LTE</i>);
WLAN	Bevielė vietinė tinklo prieiga (angl. <i>Wireless Local Area Network</i>);
3GPP	Trečios kartos partnerystės projektas (angl. <i>3-rd Generation Partnership Project</i>).

1. ĮVADAS. UŽDUOTIES ANALIZĖ

Šiuolaikiniame pasaulyje technologijos tobulėja labai sparčiai. Tai tarsi uždaras ciklas, kai pasenusias technologijas keičia naujos, modernios, tačiau, nepaisant to, kad per pastaruosius kelis dešimtmečius šis procesas labai paspartėjo, jis įgauna vis didesnę pagreitį.

Yra labai svarbu plėsti telekomunikacijų tinklus, didinti duomenų perdavimo spartą, gerinti paslaugų perdavimo kokybę, užtikrinti stabilų ryšį tarp vartotojų. Tam yra kuriami dideli įvairias technologijas sujungiantys tinklai. Viena iš naujausių mobiliojo ryšio technologijų yra LTE (angl. *Long Term Evolution*). Tai yra standartas, sukurtas bevelei didelės duomenų perdavimo spartos prieigai, skirtas mobiliesiems telefonams, kompiuteriams ar kitokiems įrenginiams. Šio standarto veikimas pagrįstas GSM/EDGE, UMTS/HSPA tinklų technologiniu veikimu, todėl LTE tinklui įgyvendinti galima panaudoti šių tinklų infrastruktūrą.

Pagrindinė LTE technologijos paskirtis yra padidinti bevielių perdavimo tinklų talpą ir greitaveiką, naudojant skaitmeninį signalų apdorojimą ir įvairias moduliacijas. Kita šios technologijos paskirtis – supaprastinti tinklo struktūrą, sujungiant skirtingus tinklus, taikant paketinį komutavimą, bei sumažinti duomenų perdavimo vėlinimą. Sumažinus duomenų perdavimo vėlinimą, turėtų atsirasti puikios galimybės LTE tinklais perduoti realaus laiko duomenis, tokius kaip balsas ar vaizdas.

Taigi, galima teigti, kad LTE tinklas yra didelės duomenų perdavimo spartos, bei didelio veikimo nuotolio prieiga prie interneto. Jau seniai yra teikiamos balso perdavimo paslaugos internetu – IP (angl. *Internet Protocol*) telefonija, arba VoIP (angl. *Voice over IP*), kuri yra plačiai naudojama ir sujungia visus prie interneto prijungtus įrenginius į vieną tinklą. Pagrindinis balso perdavimo VoIP tinklais pranašumas yra tas, kad duomenys yra perduodami internetu, kuris apima beveik visą pasaulį, todėl perduodant informaciją internetu yra sumažinama paslaugų kaina, nes yra naudojama paprastesnė tinklo struktūra, tačiau tokiomis paslaugomis buvo galima naudotis tik taikant fiksuotą prieigą, o tai gali sukelti tam tikrų nepatogumų. Juk būtų kur kas patogiau jei būtų galima teikti VoIP paslaugas taikant mobilią prieigą, tačiau ar yra galimybės naudotis bevielėmis ar mobiliosiomis VoIP paslaugomis, taikant LTE tinklą? Naudojant LTE technologiją balso pranešimus galima perduoti taikant daugelį būdų. Vienas iš jų yra LTE tinklo panaudojimas teikti pernašos paslaugas ir suteikti prieigą prie interneto. Taigi, LTE technologija turėtų suteikti galimybes naudotis bevielėmis arba mobiliosiomis VoIP paslaugomis, naudojant įvairius įrenginius.

Žinoma, kyla klausimas, ar yra poreikis taikyti LTE technologiją balso perdavimui. Šiuo atveju tai priklauso nuo daugelio aspektų. Reikia įvertinti teikiamų paslaugų spektrą, taikant LTE technologiją, ar šios paslaugos bus aktualios vartotojams ir kokioms vartotojų grupėms galima

būtų priskirti atitinkamas paslaugas. Taip pat įvertinti, kuo LTE technologija gali būti patraukli rinkai ir kokią rinkos dalį gali užimti. Visi šie aspektai yra vertinami tam tikrame kontekste, geografiniu atžvilgiu tam tikroje šalyje, mieste, atsižvelgiant į gyventojų skaičių, kitų technologijų panaudojimo galimybes ir poreikį, bei kitus kriterijus. Šiame darbe bus nagrinėjamos LTE technologijos panaudojimo galimybės balsui perduoti Lietuvoje. Bus įvertintas LTE technologijos poreikis balso perdavimo paslaugų teikimui, atsižvelgiant į tai, kad Lietuvoje yra naudojama daug įvairių technologijų šioms paslaugoms teikti. Taip pat bus įvertinta galimybė teikti balso perdavimo paslaugas atsiribojant nuo mobiliojo ryšio operatorių, naudojant LTE tinklą tik kaip pernašos paslaugą ir prieigą prie interneto.

Darbo tikslas

Šio darbo tikslas – išnagrinėti ir ištirti LTE technologijos taikymo galimybes balsui perduoti. Atlikti VoIP paslaugų įdiegimo LTE tinkle techno-ekonominį tyrimą.

Keliami uždaviniai

Atliekant tyrimą palyginti VoIP paslaugų kokybę LTE tinkle ir fiksuotos prieigos interneto tinkle, priimti sprendimą dėl VoIP paslaugų taikymo LTE tinkluose poreikio ir galimybių. Ištirinėti VoIP LTE tinkle taikymo scenarijus, pateikti jų techno-ekonominę analizę.

Naudoti tyrimų būdai ir analizės metodai

Balso pranešimų perdavimas ir kokybės vertinimas yra atliekamas *Linux OS* aplinkoje naudojant *PJSIP* ir *PESQ* programinius paketus. *PJSIP* programų rinkinys suteikia galimybę sukurti ryšį ir įvykdyti balso perdavimą, sukuriant VoIP paslaugų teikimą tarp kompiuterių. *PESQ* programa atlieka balso pranešimų kokybės vertinimą lyginant perduodamą ir priimtą pranešimus. Taip yra nustatomi pranešimų iškraipymai ir įvertinama jų kokybė.

Atliekant balso perdavimo kokybės tyrimą yra naudojamos dvi tinklo schemas, kai kompiuteriai tarpusavyje yra sujungti fiksuota prieiga ir, kai vienas iš kompiuterių naudoja mobilią LTE tinklo prieigą. Tyrimo metu LTE tinklas yra naudojamas kaip pernašos paslauga ir prieiga prie interneto, teikiant OTT (angl. *Over the Top*) paslaugas, tokiu būdu atsiribojant nuo mobiliojo ryšio operatorių balso perdavimui taikomos įrangos, tačiau neturint galimybės valdyti LTE tinklo parametrų.

Naudojant LTE tinklo prieigą duomenų perdavimo sparta priklauso nuo tos pačios bazinės stoties aprėpties zonoje esančio paslaugomis besinaudojančių vartotojų skaičiaus, todėl atliekant tyrimą yra naudojami skirtingi balso kodavimo kodekai, kurie atlieka skirtingo dydžio kompresiją ir balso pranešimus koduoja skirtinga bitų sparta. Tokiu būdu yra siekiama

išsiaiškinti, ar taikant skirtingus kodekus galima teikti balso perdavimo paslaugas esant kintamai, LTE tinklo suteikiamai, duomenų perdavimo spartai ir ar balso perdavimo kokybė yra pakankamai gera.

Tyrimo metu balso pranešimų perdavimai yra atliekami skirtingu paros metu, siekiant įvertinti balso pranešimų kokybės svyravimus, esant skirtingai LTE tinklo apkrovai. Taip pat yra atsižvelgiama į tai, kad naudojant LTE tinklo prieigą vartotojai gali būti nutolę skirtingais atstumais nuo bazinių stočių. Taip pat skirtingose vietose ryšio sąlygos gali skirtis, todėl, atliekant tyrimą, balso pranešimų perdavimai buvo atliekami iš skirtingų vietų. Be to, siekiant įvertinti galimybes teikti VoIP paslaugas, esant judriems vartotojams, kai vartotojai juda miesto teritorijoje pėsčiomis ar automobiliu, vykdant persijungimus nuo vienos bazinės stoties prie kitos, keičiantis atstumui ir vartotojo padėčiai bazinės stoties atžvilgiu, buvo atliekami balso perdavimo bandymai Vilniaus mieste judant automobiliu.

Atliekant VoIP paslaugų LTE tinkle techno-ekonominį tyrimą yra pasirenkama keletas paslaugų teikimo ir panaudojimo modelių, aptariamas paslaugų taikant šiuos modelius poreikis, galimybės ir perspektyvos. Atliekama VoIP paslaugų LTE tinkle taikymo pagal pasirinktus scenarijus techno-ekonominė analizė.

Darbo struktūra

Darbą sudaro penkios dalys:

1. Įvadas. Užduoties analizė
2. Literatūros apžvalga
3. VoIP paslaugų LTE tinkle kokybės tyrimas
4. VoIP paslaugų LTE tinkle diegimo techno-ekonominis tyrimas
5. Rezultatų apibendrinimas

Pirmojoje dalyje trumpai pateikiamas darbo tikslas ir naudoti tyrimo ir analizės metodai. Antrojoje dalyje apžvelgiama LTE technologija, jos savybės ir charakteristikos. Trečiojoje dalyje pateikiama išsami informacija apie atliktus balso pranešimų perdavimo kokybės tyrimus. Ketvirtojoje – aprašomas galimų VoIP paslaugų LTE tinkle techno-ekonominis tyrimas. Penktoje dalyje atliktas apibendrinimas ir pateiktos darbo išvados.

2. LITERATŪROS APŽVALGA

Vis augantis poreikis perduoti mobiliuosius duomenis realiu laiku, priverčia ieškoti galimybių, įgyvendinti šių paslaugų tiekimą vartotojams. Siekiant įgyvendinti didelės spartos ir didelio nuotolio nuo bazinės stoties bevielį duomenų perdavimą, 3-ios kartos partnerystės projektas 3GPP (angl. *3rd Generation Partnership Project*) sukūrė naują bevielį duomenų perdavimo standartą, pritaikytą mobiliams įrenginiams. Šis standartas buvo pavadintas LTE, jis yra vienas naujausių mobiliojo ryšio standartų.

Taikant LTE standartą yra planuojama suteikti įvairias paslaugas, pvz., tinklapių naršymą internete, prieigą prie FTP duomenų bazių, vaizdo transliavimą, balso pranešimų perdavimą, bei kitas. Šio standarto sukūrimo tikslas yra padidinti duomenų perdavimo spartą, taip pat sumažinti duomenų perdavimo vėlinimą, lyginant su trečios kartos 3G mobiliaisiais tinklais. Taip pat taikant šį standartą yra siekiama supaprastinti tinklų architektūras, taikant duomenų perdavimą IP tinklais.

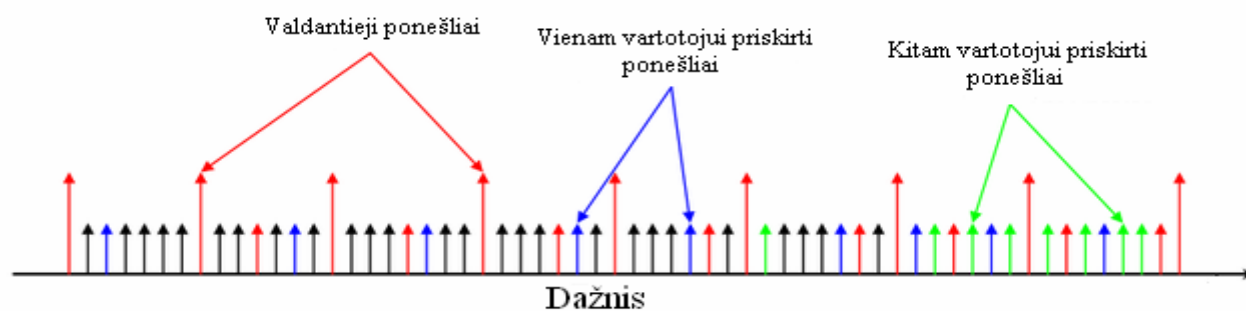
2.1. LTE technologijos specifikacijos

Kaip jau buvo minėta anksčiau, LTE standartas suteikia didelę duomenų perdavimo spartą. Maksimali deklaruojama duomenų perdavimo sparta siekia 100 Mb/s duomenų parsisiuntimui ir 50 Mb/s duomenų išsiuntimui 20 MHz dažnių ruože. Atsižvelgiant į deklaruojamas duomenų perdavimo spartas galima teigti, kad šios duomenų perdavimo spartos yra ne ką mažesnės, nei daugelio Lietuvos interneto tiekėjų suteikiamų duomenų perdavimo spartų, taikant šviesolaidinį internetą. Tačiau nereikia pamiršti, kad tai yra deklaruojamos maksimalios duomenų perdavimo spartos vienam vartotojui. Didėjant vartotojų skaičiui, šios spartos yra dalinamos visiems vartotojams, pagal jų poreikius. Todėl dažniausiai vartotojams yra prieinamos maždaug kelis ar net keletą kartų mažesnės duomenų perdavimo spartos, tačiau, netgi tokių duomenų perdavimo spartų pakanka naudojantis mobiliuoju internetu. Taip pat, nereikia pamiršti, kad naršant internete yra generuojamas kintantis duomenų srautas. Todėl vartotojams suteikiamos duomenų perdavimo spartos priklauso ne tik nuo vartotojų skaičiaus, bet ir nuo jų atliekamų operacijų. Jeigu vartotojai naršo internete, jie generuoja duomenis tik tuo metu, kol yra atveriamas puslapis, atsivėrus puslapiui, duomenų srautas sumažėja, todėl kiti vartotojai tuo metu gali naudotis didesnėmis duomenų perdavimo spartomis [1; 2; 3].

Kita labai svarbi LTE standarto savybė yra labai mažas duomenų perdavimo vėlinimas, kuris siekia vos 5 ms duomenų perdavimui iš vartotojo įrenginio į tinklą. Duomenų perdavimo vėlinimas tarp vartotojų įrenginių siekia mažiau nei 100 ms. Esant tokiam mažam duomenų perdavimo vėlinimui, LTE technologijos taikymo galimybės tampa daug platesnės. Šis

standartas turėtų puikiai tikti realaus laiko duomenims perduoti, nes esant nedideliam duomenų srauto vėlinimui, pranešimo kokybė suprastėja nepastebimai. LTE technologija turėtų atverti kelią bevieliam realaus laiko duomenų perdavimui paketais. Įvertinant tai, kad IP tinklai yra labai gerai išplėtoti visame pasaulyje, o LTE standartas suteikia galimybę vartotojams turėti mobilią prieigą prie šių tinklų, LTE technologijos poreikis vartotojams tampa labai didelis. Kadangi LTE standartas yra skirtas mobiliesiems įrenginiams, ši technologija suteikia galimybę naudotis ryšiu net kai vartotojo įrenginys juda gan dideliu greičiu. Judėjimo greitis gali siekti iki kelių šimtų kilometrų per valandą. Tai yra labai patogu keliaujant automobiliu ar kitu transportu. Tačiau esant dideliame objekto judėjimo greičiui, duomenų perdavimo sparta mažėja. Deklaruojamas optimaliausias objekto judėjimo greitis, kuriam esant duomenų perdavimo sparta beveik nekinta, yra iki 15 km/h [1; 2; 3].

Kaip jau buvo minėta anksčiau, LTE standartas duomenų perdavimui iš tinklo į vartotojo įrenginį ir duomenų perdavimui iš vartotojo įrenginio į tinklą, suteikia skirtingas duomenų perdavimo spartas. Taip yra todėl, kad vartotojų įrenginių siųstuvų galimybės yra ribotos, be to yra svarbus suvartojamos energijos faktorius. LTE standartas duomenų perdavimui iš tinklo į vartotojo įrenginį naudoja OFDMA (angl. *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) moduliaciją, o duomenų perdavimui iš vartotojo įrenginio į tinklą – SC – FDMA (angl. *Single Carrier Frequency-Division Multiple Access*). OFDMA moduliacija tai yra dideliame skaičiui vartotojų skirta OFDM moduliacijos versija. Taikant šią moduliaciją nešliai yra suskirstomi į ponešlius ir ponešliai priskiriami skirtingiems vartotojams, taip yra perduodami duomenys keliems vartotojams vienu metu. OFDMA moduliacijos ponešlių pasiskirstymo pavyzdys pateiktas 2.1 pav [1; 2; 4].



2.1 pav. OFDMA moduliacijos ponešlių pasiskirstymas [5]

Kaip galima pastebėti iš pateikto paveikslo, yra naudojami valdantieji ponešliai, skirti perduoti tarnybinę informaciją, ir vartotojams priskiriami ponešliai. Kiekvienas vartotojas priima informaciją naudojant skirtingus ponešlius, jei informacijos kiekis yra didelis, skirtingiems vartotojams gali būti priskiriami skirtingi ponešlių kiekiai vienu metu. Kuo daugiau ponešlių yra

suteikiama vienam vartotojui, tuo didesne duomenų perdavimo sparta šis vartotojas gali naudotis. Tačiau, kaip ir kiekviena moduliacija, ši moduliacija turi privalumų ir trūkumų.

2.1.1. OFDMA moduliacijos privalumai

- Diegimo įvairiose dažnių juostose lankstumas;
- Nedidelė interferencija iš kaimyninių korinio ryšio ląstelių, naudojant skirtingus dažnius tarp vartotojų skirtingose ląstelėse;
- Nedideli interferenciniai trukdžiai ląstelės viduje, naudojant paskirstytas ciklines kombinacijas;
- Esant sunkumams su teritorijos aprėptimi, leidžia vieno dažnio tinklo aprėptį;
- Suteikia naudojamų dažnių įvairovę, paskirstant nešlius per visą naudojamą dažnių spektrą.

2.1.2. OFDMA moduliacijos trūkumai

- Didesnis jautrumas dažnių nukrypimams ir fiziniams triukšmams;
- Keli vienos bazinės stoties ląstelėje esantys vartotojai duomenis gauna tuo pat metu, tačiau pastoviomis mažomis duomenų perdavimo spartomis;
- Sudėtingos OFDM moduliacijos prietaisų aparatūrinė ir programinė dalys, tokios kaip FFT algoritmas ir pirminė klaidų korekcija, yra nuolat aktyvuotos, nepriklausomai nuo perduodamų duomenų srauto, todėl tai yra nepraktiška energijos suvartojimo atžvilgiu;
- Atsparumas selektyviam dažnių nykimui gali būti dalinai prarastas, jei labai mažai ponešlių yra priskiriama kiekvienam vartotojui;
- Trukdžių išvengimas iš gretimose ląstelėse esančių bazinių stočių yra sudėtingesnis nei CDMA atveju.

Tinkamos moduliacijos pasirinkimas mobiliojo ryšio tinkluose yra labai svarbus, siekiant įgyvendinti didelę duomenų perdavimo spartą, geru atsparumu trukdžiams ir mažu vėlinimu pasižyminčią technologiją. OFDMA moduliacija suteikia galimybę daugeliui vartotojų naudotis prieiga prie tų pačių radijo išteklių, išdalinant dažnių ruožą į ponešlius, kuriais yra perduodama skirtingų vartotojų informacija. Tačiau taikant OFDMA moduliaciją yra naudojama gan sudėtinga aparatūra, kuri yra gan brangi ir vartoja daug energijos, todėl kaip jau buvo minėta anksčiau, informacijos perdavimui iš vartotojo įrenginio LTE tinkle yra naudojama kita moduliacija SC – FDMA. Ši moduliacija naudoja vieną nešlį, kadangi vartotojo įrenginys kontaktuoja tik su bazonėmis stotimis ir duomenų perdavimas vienu metu dažniausiai vyksta tik

tarp įrenginio ir vienos bazinės stoties. SC – FDMA naudojama galia generuojant bitus yra mažesnė nei OFDMA, taigi šios moduliacijos taikymas vartotojų įrenginiuose užtikrina gan didelę duomenų perdavimo spartą, bet tuo pačiu ir nereikalauja didelio energijos kiekio. Taip yra supaprastinama vartotojų įrenginių konstrukcija, sumažinami matmenys ir kaina, be to, tai yra patogų naudojant mobiliuosius įrenginius, kurie yra maitinami baterijomis ar akumuliatoriais, prailginant šių įrenginių veikimo laiką [1; 2; 4].

LTE yra korinio ryšio sistema, kuri kaip ir ankstesnių kartų mobiliojo ryšio sistemos veikia tam tikrame dažnių ruože, esant tam tikram spektro pločiui. Atsižvelgiant į ankstesnių technologijų galimybes, buvo pastebėta, kad norint padidinti duomenų perdavimo spartą, reikia naudoti platesnį dažnių spektrą. Kadangi dažniniai resursai yra riboti, buvo nuspręsta LTE standartui pritaikyti skirtingus dažnių ruožus. Šis standartas suteikia gan lanksčias galimybes naudoti skirtingus dažnių ruožus, naudojant skirtingo pločio spektrus.

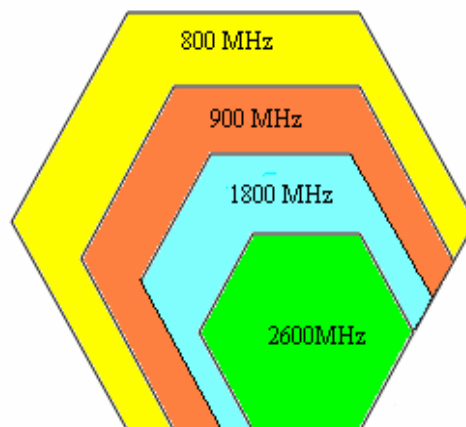
LTE standartas gali veikti skirtinguose dažnių ruožuose, Amerikoje naudojami dažnių ruožai yra 700-800 MHz, 1700-1800 MHz, 2500MHz, Europoje – 800, 900, 1800, 2100, 2600 MHz, Azijoje 1800 MHz. Atsižvelgiant į skirtingus dažnių ruožus, vartotojų įrenginiai turi suteikti galimybę naudotis LTE ryšiu visame pasaulyje, todėl yra stengiamasi pritaikyti šiuos įrenginius skirtingiems dažnių ruožams. Žinoma, beveik visi išvardinti dažnių ruožai yra naudojami mobiliojo ryšio technologijose, tačiau šiuos dažnių ruožus galima naudoti skirtingoms technologijoms taikant skirtingus spektrus. Galimi taikyti LTE technologijos spektrų pločiai yra 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz. Kadangi 2G ryšiui yra naudojami 900 ir 1800 MHz dažniai, 3G – 2100 ir 900 MHz dažniai, norint šiuos dažnius taikyti LTE ryšiui, reikia įvertinti kokia vartotojų sukuriamą apkrovą teks 2G ir 3G tinklams dalį dažnių spektro panaudojant LTE ryšiui. Gali būti, kad 2G ir 3G tinklai bus perkrauti ir duomenų perdavimo spartos bus labai mažos, taikant šiuos tinklus, todėl siekiant to išvengti LTE tinklas turi perimti dalį vartotojų sukuriamos apkrovos, kuri tenka 2G ir 3G tinklams [1; 4].

Siekiant tai įgyvendinti naudojant LTE standartą, turi būti teikiamos ankstesnių mobiliojo ryšio technologijų teikiamos paslaugos. Taip pat vartotojų įranga (mobilieji telefonai) turi būti pritaikyta LTE technologijai. Atsižvelgiant į tai, kad daugelis vartotojų naudojami senais įrenginiais, kurie nepritaikyti LTE standartui, yra nutarta LTE standartui panaudoti naują, mobiliąjam ryšiui nenaudotą 2600 MHz dažnių ruožą, nepadidinant 2G ir 3G tinklų apkrovos. Žinoma, kiekvienas teikiantis paslaugas mobiliojo ryšio operatorius savo nuožiūra sprendžia, kokią dažnių ruožą yra palanku naudoti. Taip pat, yra galimybės naudoti skirtingus dažnių ruožus toje pačioje teritorijoje, taip padidinant toje teritorijoje aptarnaujamą vartotojų skaičių.

Kalbant apie LTE tinklo diegimą, projektuojant tinklą yra svarbu numatyti ir atsižvelgti į abonentų skaičių ir jų sukuriamą apkrovą. Žinoma, tinklo kūrimo pradžioje teikiamų paslaugų

skvarba nėra didelė, tačiau laikui bėgant vis daugiau vartotojų ima naudotis paslaugomis ir paslaugų skvarba išauga. Todėl dažniausiai pradžioje mobiliojo ryšio tinklo bazinės stotys yra išdėstomos gan dideliais atstumais viena nuo kitos, tačiau vėliau yra statomos naujos bazinės stotys ir taip bazinių stočių tinklas yra sutankinamas, siekiant mažinti vartotojų apkrovą, tenkančią vienai bazinei stočiai. Taip yra suteikiamos galimybės aptarnauti daugiau vartotojų, bei taikant mobiliojo ryšio duomenų perdavimą suteikti didesnę duomenų perdavimo spartą. Taip pat, gali būti naudojamos skirtingo dydžio ląstelės skirtingose vietose, priklausomai nuo vartotojų tankio. Tačiau miesto vietovėse, vartotojų tankis yra gan didelis, todėl dažniausiai yra naudojamos labai mažo skersmens ląstelės, taip pat yra galimybė sudaryti ląsteles, naudojant skirtingus dažnius toje pačioje teritorijoje. Taip gali būti siekiama padidinti vienos ląstelės aptarnaujamą vartotojų skaičių. Taip pat, padidėtų vartotojams tenkanti duomenų perdavimo sparta, nes vartotojų skaičius vienai bazinei stočiai taptų mažesnis.

Skirtingų dažnių panaudojimas signalams perduoti iš to paties taško, suteikia galimybę sukurti kelias skirtingais dažniais veikiančias ląsteles toje pačioje teritorijoje. Apačioje pateiktas paveikslas, kaip gali atrodyti korinio tinklo bazinės stoties aprėpiamas teritorijos plotas, naudojant skirtingus dažnius.



2.2 pav. Vienoje ląstelėje taikomi skirtingi dažniai

Žinoma, kuo žemesni dažniai tuo toliau galima perduoti signalą, tačiau signalo perdavimo nuotolis dažnai nėra pagrindinis prioritetas. Pagrindiniu prioritetu tankiai apgyvendintose vietovėse tampa aptarnaujamų vartotojų skaičius ir suteikiama duomenų perdavimo sparta.

Taigi, naudojant 2.2 pav. pateiktą schemą galima padidinti ląstelės talpą ir vienam vartotojui tenkančią duomenų perdavimo spartą. Tokiu atveju, vartotojai esantys toliau nuo bazinės stoties ryšiui naudos žemesnius dažnius, o esantys arčiau bazinės stoties naudos aukštesnius dažnius atsižvelgiant į teritorijos padengiamumo galimybes naudojant skirtingus dažnius. Žinoma, galimas ir toks variantas, kad dėl didelio vartotojų skaičiaus bus taikomos

vienodai mažo ploto ląstelės visiems dažniams, taip sumažinant ląstelių aprėptis, kad teks dar labiau sutankinti tinklą. Tokiu atveju, vartotojai naudosis skirtingais dažniniais resursais atsižvelgiant į tinklo apkrovą, skirtingų vartotojų duomenys bus perduodami taikant skirtingus dažnius toje pačioje teritorijoje.

Kalbat apie LTE tinklo ląstelių dydžius, galima paminėti, kad ląstelės gali būti labai įvairių dydžių. Mažiausios gali būti vos dešimčių metrų skersmens, tuo tarpu didžiausios gali būti net iki 100 km skersmens. Korinio ryšio ląstelių dydžiai priklauso nuo naudojamų dažnių, vietovės reljefo, vartotojų skaičiaus toje vietovėje, bei kitų aspektų. Kaimo vietovėse yra manoma naudoti žemus dažnius, optimalus ląstelių skersmuo turėtų būti apie 5 km. Miestuose dažniausiai yra taikomos aukštesnių dažnių juostos dėl to, kad yra didelis vartotojų skaičius, todėl ląstelių dydžiai priklauso ne tik nuo dažnių padengiamumo galimybių, bet ir vartotojų sukuriamų apkrovų. Taikant aukštesnių dažnių diapazonus ir mažo skersmens ląsteles yra siekiama padidinti duomenų perdavimo spartą ir suteikti vartotojams mobilumo. Tokiu atveju, miestuose ląstelės skersmuo gali būti 1 km ar net mažesnis. Kalbant apie vartotojų aptarnavimo galimybes, nepriklausomai nuo ląstelės dydžio, LTE standartas gali suteikti prieigą dviem šimtams aktyvių vartotojų kiekvienoje 5 MHz ląstelėje [3; 4].

Dar viena LTE technologijos savybė yra ta, kad ši technologija naudoja skirtingas duomenų perdavimo sistemas, tokias kaip dažnio dalinimo duplexo FDD (angl. *Frequency Domain Duplex*) ir laiko dalinimo duplexo TDD (angl. *Time Domain Duplex*). Žinoma, tokios sistemos yra jau seniai taikomos mobiliojo ryšio technologijose, tačiau tokiu būdu galima aptarnauti didesnę vartotojų skaičių.

Atsižvelgiant į tai kas buvo paminėta, galima teigti, kad nors ryšys tarp vartotojų taikant LTE standartą yra palaikomas per bazines stotis, kaip ir naudojant ankstesnių kartų mobiliojo ryšio sistemas, tačiau LTE suteikia kur kas didesnes galimybes, nei iki šiol naudotos ir vis dar tebenaudojamos mobiliojo ryšio sistemos.

2.2. Balso perdavimas taikant LTE technologiją

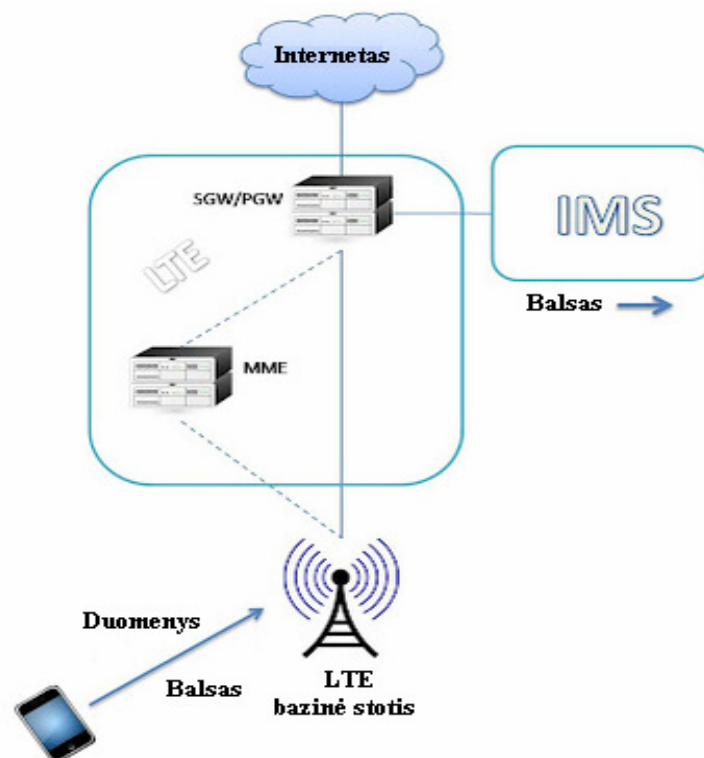
Nors LTE technologija yra sukurta atsižvelgiant į ankstesnes mobiliojo ryšio technologijas, tačiau tinklo struktūros atžvilgiu yra naudojama visiškai kita tinklo architektūra nei ankstesnių technologijų. LTE tinklo infrastruktūra yra paprastesnė lyginant su ankstesnių kartų mobiliojo ryšio technologijomis. Taip yra todėl, kad yra naudojamas tik paketinis komutavimas, yra atsisakyta ankstesnių sistemų naudoto grandinių komutavimo.

Kadangi LTE standartas naudoja paketinį dalinimą, galima perduoti informaciją IP tinklais, norint perduoti informaciją į kitus tinklus, kurie naudoja grandinių komutavimo sistemas, yra taikomas grandinių komutavimas, žinoma tam reikia papildomos įrangos, kuri

leistų komunikuoti su skirtingų technologijų tinklais. Kalbant apie balso pranešimų perdavimą, perduodant balso pranešimus LTE tinklu, reikia įtraukti galimybes perduoti balso pranešimus ne tik IP, bet ir kitais tinklais, tam reikia pertvarkyti balso pranešimų perdavimo tinklą. Yra išskiriami keli galimi balso pranešimų perdavimo būdai [6]:

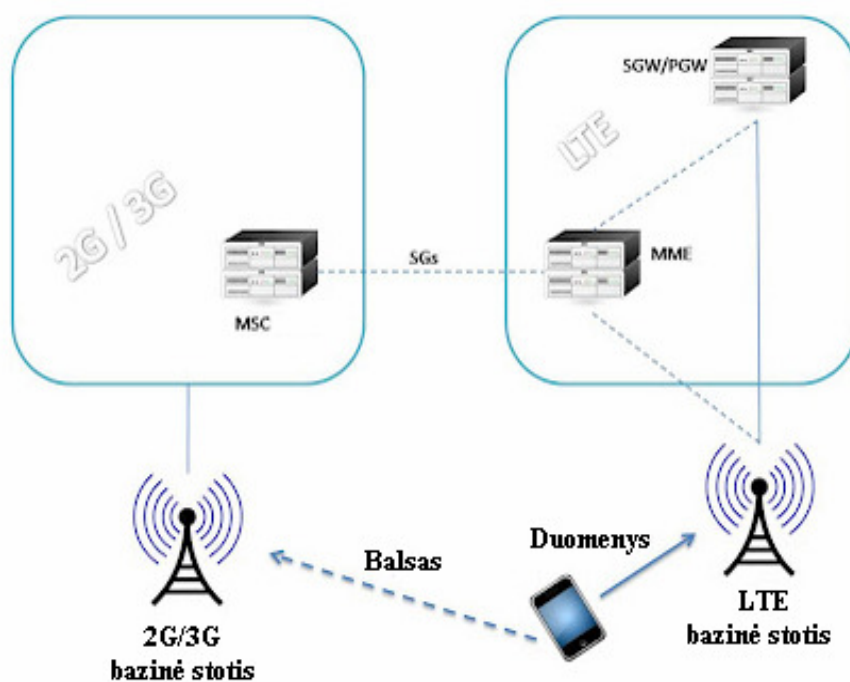
- VoLTE (angl. *Voice over LTE*);
- CSFB (angl. *Circuit Switched Fallback*);
- SVLTE (angl. *Simultaneous Voice and LTE*);
- VoLGA (angl. *Voice over LTE via Generic Access*);
- OTT (angl. *Over the Top*).

VoLTE atveju balso perdavimui yra naudojamos IP tinklų multimedijos posistemės (IMS - angl. *IP Multimedia Subsystem*). Šios posistemės atsakingos už kokybiškų multimedijos paslaugų tiekimą IP tinklais. Taikant IMS galima teikti ne tik balso perdavimo paslaugas, bet ir trumpųjų žinučių perdavimą, bei kitas paslaugas. Naudojant IMS balso perdavimo paslaugos yra teikiamos, kaip duomenų srauto perdavimas LTE ir IP tinklais. Nėra jokios būtinybės taikyti grandinių komutavimą, yra naudojamas paketų dalinimo būdas. Supaprastinta VoLTE veikimo schema pateikta 2.3 pav. [6].



2.3 pav. Supaprastinta VoLTE veikimo schema [6]

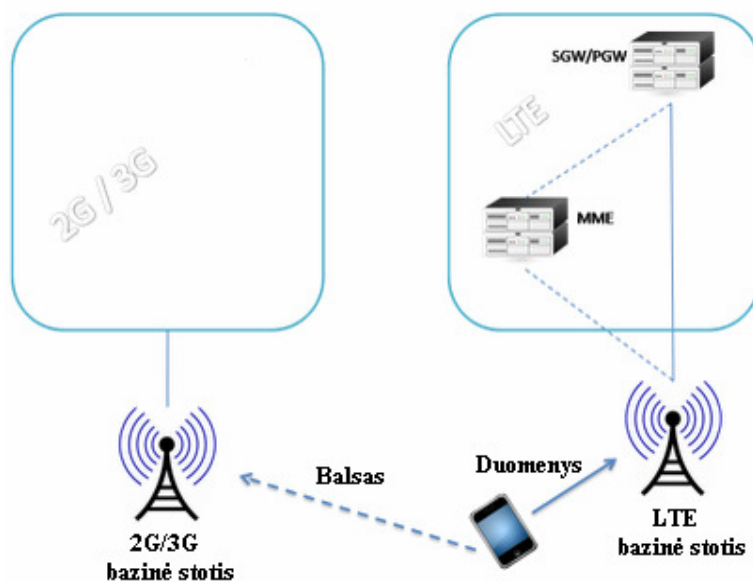
Schemoje yra pavaizduotos pagrindinės LTE tinklo sudedamosios dalys. Tai yra bazinė stotis, mobilumo valdymo įrenginys (MME), kuris atsakingas už signalizavimą, vartotojų identifikavimą, bei kitas funkcijas. Šis įrenginys perduoda tinklo valdymo informaciją. Paslaugų ir paketinių duomenų tinklų sietuvai (SGW/PGW), kurie vykdo komutavimą su kitų technologijų tinklais, ir IP tinklų multimedijos posistemė (IMS), kuri yra naudojama VoLTE sistemai įgyvendinti. Iš pateiktos schemos matyti, kad balsas ar duomenys yra perduodami radijo kanalu į LTE bazinę stotį, iš kurios informacija yra perduodama į paslaugų ir paketinių duomenų tinklų sietuvą. Balso pranešimai iš sietuvų keliauja į IP tinklų multimedijos posistemę, kur toliau yra perduodami į kitus tinklus, tuo tarpu, duomenys dažniausiai yra perduodami į internetą [6].



Schemoje parodyta, kad 2G/3G ir LTE tinklai yra sujungti SGs sąsaja, ši sąsaja jungia mobiliojo komutavimo centrą (MSC) esantį 2G/3G tinkluose su mobilumo valdymo įrenginiu esančiu LTE tinkle. Per SGs sąsają yra perduodama valdymo informacija tarp šių įrenginių siekiant sudaryti sklandų persijungimą tarp technologijų.

Tokią balso perdavimo sistemą gali taikyti mobiliojo ryšio operatoriai kurie turi 2G/3G tinklus. Toks sprendimas reikalauja nelabai didelių investicijų, palyginus su kitomis balso perdavimo sistemomis, taikant LTE tinklą. Taip pat tokios sistemos taikymas yra galimas ir todėl, kad mobilieji įrenginiai yra pritaikyti įvairioms mobiliojo ryšio technologijoms ir gali vykdyti persijungimus tarp šių technologijų. Tačiau pagrindinis šios sistemos trūkumas yra tas, kad vienu metu galima naudotis tik viena technologija, todėl vartotojai gali naudotis tik vienos technologijos teikiamomis paslaugomis vienu metu. Jei vartotojai naršo internete, jie neturi galimybės naudotis balso perdavimo paslaugomis prieš tai nenutraukus LTE ryšio. Tokiu atveju, vykdamas balso perdavimą, duomenų siuntimas yra nutraukiamas ir atnaujinamas tik po to, kai bus atnaujintas LTE ryšys [6].

SVLTE sistemos atveju vartotojo įrenginys veikia, taikant dvi komutavimo sistemas. Vienu metu yra naudojami du radijo siųstuvai ir imtuvai, iš kurių viena pora yra naudojama prisijungti prie 2G/3G tinklų, o kita pora prisijungti prie LTE tinklo. Visi siunčiami duomenys yra perduodami LTE tinklu, tačiau balso pranešimų perdavimui yra naudojamas grandinių komutavimas. SVLTE sistemos supaprastinta schema pateikta 2.5 pav.[6].

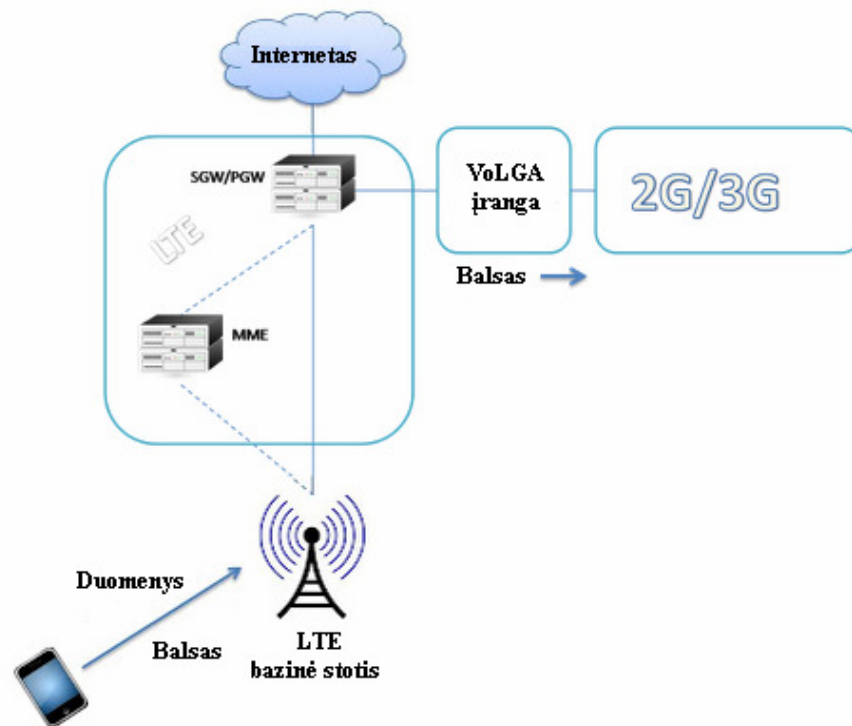


2.5 pav. Supaprastinta SVLTE veikimo schema [6]

Kaip galime pastebėti iš pateiktos schemos yra naudojami du skirtingų technologijų tinklai, kurie tarpusavyje nėra sujungti papildomomis sąsajomis. Šie tinklai yra naudojami vienu

metu, todėl vienu metu galima naudotis skirtingų tinklų suteikiamomis paslaugomis. Taip pat toks sprendimas yra pigiausias mobiliojo ryšio operatoriams, nes nereikia jokios papildomos įrangos, yra naudojami du tinklai visiškai nepriklausomi vienas nuo kito. Iš vartotojų įrangos pusės, ši įranga yra sudėtingesnė ir brangesnė, tačiau toks sprendimas gali būti įgyvendinamas įvairiuose įrenginiuose, jau dabar yra mobiliųjų telefonų kurie veikia naudojant tokią schemą, tačiau yra susiduriama su problema, tokie įrenginiai vartoja daug energijos, todėl tai nėra labai patogu taikant mobiliuosius prietaisus [6].

Dar vienas galimas balso pranešimų perdavimo būdas yra VoLGA (angl. *Voice over LTE Generic Access*). Taikant šį balso pranešimų perdavimo būdą yra naudojamas ankstesnių mobiliojo ryšio kartų tinklas, veikiantis grandinių komutavimo principu. Taip pat reikia papildomos įrangos, kuri suteiktų galimybes balso pranešimus perduoti į šiuos tinklus. Supaprastinta VoLGA sistemos veikimo schema pateikta 2.6 pav. [6]



2.6 pav. Supaprastinta VoLGA veikimo schema [6]

Kaip galime pastebėti iš schemos, veikimo principas yra panašus kaip ir VoLTE sistemos atveju, tačiau nėra naudojamos IP tinklų multimedijos posistemės, o yra naudojama papildoma VoLGA įranga ir 2G/3G grandinių komutavimo sistemos. Kaip ir VoLTE atveju yra naudojamas tik LTE tinklo radijo traktas, balso ir duomenų perdavimui yra naudojami tie patys dažniniai resursai. Taip vartotojai tuo pačiu metu gali naudotis skirtingomis LTE tinklo suteikiamomis paslaugomis. Tačiau pagrindinis šios sistemos trūkumas yra tas, kad tenka naudoti ankstesnių mobiliojo ryšio kartų grandinių komutavimo sistemas. Be to reikalinga papildoma įranga, todėl

kyla daug klausimų ar yra pravartu taikyti šį balso pranešimų perdavimo būdą, nes VoLTE sistemos atveju yra atsisakyta grandinių komutavimo sistemų [6].

Be visų jau išvardintų balso pranešimų perdavimo būdų LTE tinkle, galimas ir dar vienas variantas. Šis balso pranešimų perdavimo būdas nėra inicijuojamas operatorių ir yra pavadintas OTT (angl. *Over the Top*) turinio paslaugomis. Taikant šį balso pranešimų perdavimo būdą, vykdam pokalbius, nėra naudojama mobiliojo ryšio operatorių balso perdavimui taikoma įranga. Tokios programos kaip *Skype*, *Viber*, *Ventrilo*, *Team-Speak*, bei daugelis kitų, balsui perduoti naudoja atskiras sistemas, kurios vykdo balso perdavimą, o prieigai prie šių sistemų gali būti taikomi įvairūs tinklai, tiek fiksuoti, tiek mobilieji. Vartotojų įrenginiuose balso pranešimai yra apdorojami programiškai ir perduodami duomenų pavidalu. Taigi, galima atsiriboti nuo telefonijos paslaugas teikiančių operatorių ir balso perdavimui taikyti tokias sistemas, naudojant LTE ryšį, tačiau balso pranešimų perdavimas yra vienas pagrindinių tinklų operatorių pajamų šaltinių, todėl šis balso pranešimų perdavimo būdas nesulaukia daug paramos ir nėra smarkiai vystomas [6].

2.3. LTE technologijos ateitis

Tarptautinė telekomunikacijų bendrija ITU (angl. *International Telecommunication Union*) pateikė reikalavimus ketvirtos kartos 4G mobiliojo ryšio standartui. Siekiant įgyvendinti šiuos reikalavimus 3GPP pavadino 4G LTE standartą LTE – Advanced. Šis standartas turi atitikti pagrindinius ITU reikalavimus [3; 7; 8]:

- Standartas turi turėti galimybę veikti visame pasaulyje, taikant bendrą technologiją, išlaikant lankstumą teikti vietos paslaugas ir taikomųjų programų naudojimą ekonomiškai ir efektyviai;
- Turi būti suderintas su mobiliojo ir fiksuoto ryšio tinklais, kad galėtų teikti tas pačias paslaugas;
- Teikiamos mobiliojo ryšio paslaugos turi būti labai geros kokybės;
- Vartotojų įrenginiai turi būti tinkami naudoti visame pasaulyje;
- Įrenginiai ir naudojamos programos turi būti vartotojams patogios, kad jomis galima būtų lengvai naudotis;
- Standartas turi suteikti galimybę persijungti prie kitų operatorių tinklų visame pasaulyje;
- Duomenų perdavimo sparta turi būti gan didelė, 100 Mb/s esant dideliame vartotojo mobilumui ir 1 Gb/s esant mažam mobilumui.

Atsižvelgiant į šiuos reikalavimus, siekiant įgyvendinti 4G LTE ryšio sistemą, kurios sparta siektų 1Gb/s, yra planuojama panaudojant 4x4 antenų MIMO įrangą ir praplečiant dažnių perdavimo juostą mažiausiai 70 MHz. Spektrinio efektyvumo požiūriu, šiuo metu LTE atitinka duomenų spartą iš bazinės stoties į vartotojo įrenginį, bet duomenų perdavimo sparta iš vartotojo įrenginio į bazinę stotį turi būti dvigubai didesnė. Tačiau maksimali perdavimo sparta ar balso pranešimų perdavimas kol kas nėra pagrindinis prioritetas, kuriant LTE – Advanced standartą. Yra siekiama suteikti vartotojams kuo didesnę duomenų perdavimo spartą kaip įmanoma efektyviau panaudojant spektrą, tačiau pagrindinis tikslas yra suteikti kiek įmanoma didesnę duomenų perdavimo spartą vartotojams besinaudojantiems LTE ryšiu bazinių stočių aprėpties kraštuose, taškuose labiausiai nutolusiuose nuo bazinių stočių. Taigi, pagrindinis 4G LTE standarto uždavinys yra suteikti vartotojams kuo didesnę, vidutinę duomenų perdavimo spartą visoje bazinės stoties aprėpties zonoje [7; 8].

Trečios kartos partnerystės projektas 3GPP, siekdamas įgyvendinti 4G LTE standartą nurodo, kelis galimus sprendimus, kurie gali būti taikomi, siekiant įvykdyti ITU reikalavimus:

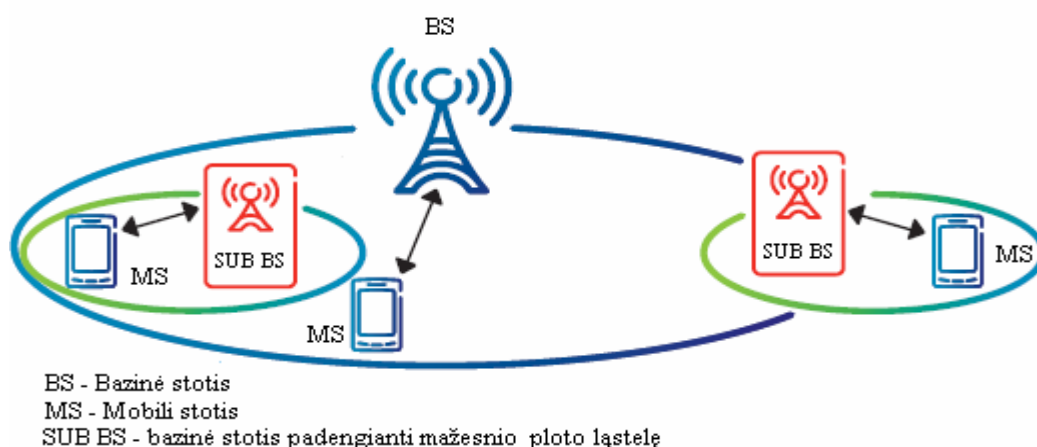
- Vienas iš galimų veiksmų yra nešlių ir spektro agregacija. Kadangi didesnei duomenų perdavimo spartai pasiekti nepakanka LTE standartui suteikto dažnių ruožo, gali būti taikoma nešlių agregacija siekiant padidinti duomenų perdavimo spartą ir įgyvendinti spektro lankstumo reikalavimus;
- Siekiant padidinti duomenų perdavimo spartą tarp galinio įrenginio ir bazinės stoties bus naudojama Clustered – SC – FDMA moduliacija, kuri suteikia galimybę duomenis perduoti didesne sparta, taip pat yra suderinta su dabar naudojama LTE SC – FDMA moduliacija;
- Aukštesnio lygmens MIMO sistemos naudojimas, 8x8 ryšiui iš bazinės stoties į vartotojo įrenginį ir 4x4 iš vartotojo įrenginio į bazinę stotį, bei kryptingumo diagramų sudarymas taikant erdvinį multipleksavimą, turi suteikti didesnę duomenų perdavimo spartą bei bazinės stoties aprėpties zoną ir talpą.

Kalbant apie nešlių ir spektro agregaciją, yra atsižvelgiama į tai, kad dažniniai resursai yra riboti, todėl mobiliojo ryšio operatorių naudojami dažnių spektrų plotai yra riboti. Siekiant padidinti duomenų perdavimo spartą reikia plėsti spektrą, tačiau dėl spektro pločio trūkumo to padaryti negalima. Todėl yra numatomos galimybės, kad mobiliojo ryšio operatoriai teikiantys paslaugas, naudojant gretimus dažnių spektrus gali naudotis kitų operatorių dažniniais resursais pagal tam tikrus susitarimus ir prioritetus, jei yra galimybė efektyviau panaudoti turimus dažnių spektrus.

Ateityje yra planuojama sukurti nevienalytį tinklą, kuris sujungtų tarpusavyje skirtingas technologijas. Jau dabar telekomunikacijų tinklai yra gan sudėtingi ir sujungia daugelį skirtingų technologijų, tačiau taikant LTE technologiją yra suteikiama galimybė ne tik sujungti skirtingų technologijų tinklus, bet ir suteikti mobilią prieigą prie jų. Tokiu būdu galima būtų stebėti ir valdyti įvairias sistemas nuotoliniu būdu, naudojant mobiliuosius įrenginius, nepaisant fiksuotų prieigų tinklų infrastruktūros.

Jau anksčiau buvo kalbama apie tai, kad LTE tinkle gali būti labai įvairūs ląstelių dydžiai, tačiau ši technologija suteikia galimybes naudoti labai mažo skersmens ląsteles, tokios ląstelės yra vadinamos - mikro, piko ir femto ląstelėmis. Šios ląstelės gali būti taikomos įvairiems tikslams įgyvendinti, tačiau bazinės stotys visada turi turėti galimybę komunikuoti su tinklo įranga naudojant didelio pralaidumo kanalus. Dažniausiai šiam tikslui yra naudojami šviesolaidiniai kabeliai. Ankstesnių kartų technologijose buvo naudojamos radijo relinės linijos, tačiau šių linijų panaudojimas LTE tinkle nėra labai praktiškas, dėl nepakankamos duomenų perdavimo spartos esant dideliems atstumams ir gamtos veiksnių įtakos ryšio kokybei, be to yra būtinas tiesioginis matomumas. Todėl vietovėse kur šviesolaidinių kabelių nėra, stipriai išauga LTE tinklo diegimo kaštai. Siekiant šiuos kaštus sumažinti tenka ieškoti kitų galimų didelės spartos perdavimo linijų, tačiau kol kas šviesolaidiniai kabeliai išlieka nepakeičiami.

Taigi, kuriant mikro, piko ir femto ląsteles yra būtina šviesolaidinė transmisija arba kitaip tariant šviesolaidinis internetas. Iškyla klausimas, kam reikalingos šios ląstelės, jei yra reikalinga fiksuota interneto prieiga? Mikro ląstelės gali būti kuriamos tam, kad sumažinti makro ląstelių apkrovą esant dideliame vartotojų skaičiui. Yra numatytos galimybės tokias ląsteles aptarnaujančias bazines stotis diegti ant apšvietimo stulpų, pastatų ar kitų vietų, kur yra pakankamai geros sąlygos signalo sklidimui ir yra reikalinga infrastruktūra. Šios ląstelės turėtų ne tik sumažinti tinklo apkrovą, tenkančią makro ląstelėms, bet ir praplėsti LTE tinklo aprėpties zoną. LTE tinklo struktūra, taikant mikro ląsteles pateikta 2.7 pav. [7].



2.7 pav. LTE tinklo struktūra taikant mikro ląsteles

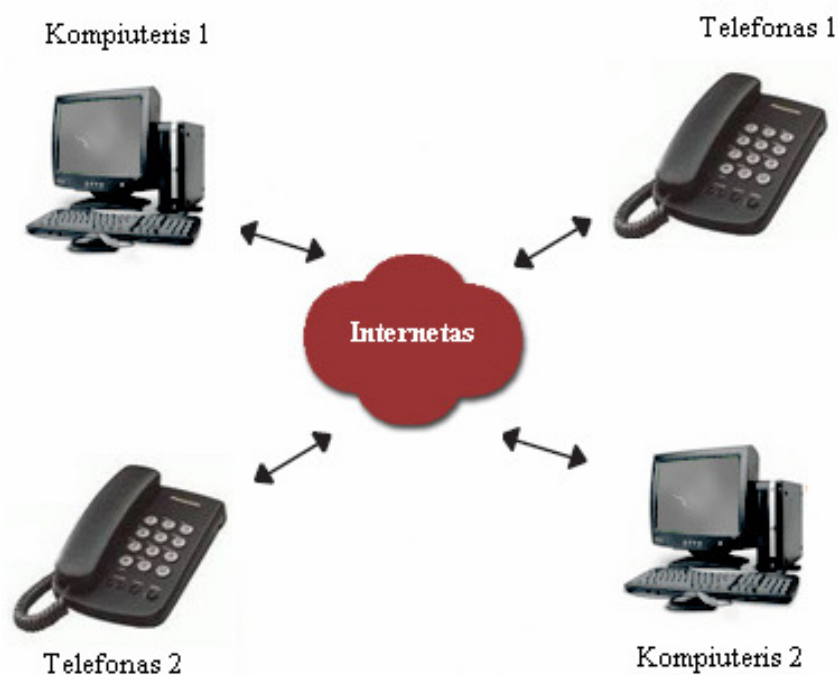
Esant tokiai tinklo struktūrai yra padidinama duomenų perdavimo spartą, tarp mobiliųjų stočių ir bazinės stoties, kadangi aptarnaujamas vartotojų skaičius tenka ne vienai bazinei stotčiai, o kelioms, todėl vartotojai gali naudotis didesnėmis duomenų perdavimo spartomis. Taip pat yra praplečiama bazinės stoties padengimo sritis, kai mobiliosios stotys yra prisijungusios prie bazinių stočių, kurios padengia mažesnes ląsteles. Mažesnių ląstelių sritys gali būti už didelės ląstelės ribų. Be to, taikant tokią schemą yra padidinamas aptarnaujamų vartotojų skaičius.

Piko ir femto ląstelės yra skirtos sukurti LTE tinklo prieigai pastatuose. Tokiu būdu yra sukuriamas namų erdvės LTE tinklo sritis, kuri veikia WLAN sistemos pagrindu. Atrodo nelabai praktiška, siekiant sukurti tokią sritį reikia turėti šviesolaidinę prieigą, tad kam gi tada reikalinga LTE femto ląstelė, jei naudojant šviesolaidinį internetą, galima naudoti WLAN be jokio papildomo mokesčio. Šiuo atveju LTE femto ląstelė atrodo kaip nereikalingas dalykas, tačiau šios ląstelės turėtų suteikti kur kas didesnes galimybes balso perdavimo srityje naudojant LTE technologiją, o ne WLAN. Taip pat toks sprendimas gali būti taikomas vietovėse, kur yra išplėtotas fiksuotų prieigų infrastruktūra, bet nėra galimybės naudotis mobiliojo ryšio paslaugomis, sukuriant vietinę mobiliojo ryšio zoną. Tai yra aktualu tose vietovėse, kur signalo lygis yra silpnas, ar išvis nėra ryšio, tačiau ar bus plėtojamas femto ląstelių diegimas, kol kas nėra aišku, bet LTE technologija suteikia tokias galimybes.

Žinoma, kuriant naują standartą ar vystant jau sukurtą, siekiant jį suderinti su jau dabar įdiegtais ir veikiančiais standartais visada yra susiduriama su tam tikromis problemomis ir iššūkiais. LTE taip pat ne išimtis, šis standartas yra gan naujas ir gan sudėtingas, su daugelio kanalų pralaidumu, skirtingomis perdavimo schemomis, taikant dažnio ir laiko dalinimo duplexus, daugelio antenų MIMO sistema ir daugeliu kitų charakteristikų ir savybių. LTE ir LTE – Advanced taip pat turės veikti kartu su 2G ir 3G mobiliosiomis sistemomis, taigi, būtinas šių sistemų suderinamumas ir tarpusavio trukdžių pašalinimas. Galima teigti, kad LTE veikimo tiksliniai rodikliai yra gan aukšti, o LTE – Advanced dar aukštesni, tačiau nepaisant to yra tikimasi, kad šie standartai bus vystomi ir toliau. Šių standartų taikymas vartotojams suteiks kol kas nepasiekiamas galimybes. Jau dabar atliekami LTE – Advanced bandymai atitinka ITU pateiktus reikalavimus 4G mobiliojo ryšio kartai, todėl šis standartas yra oficialiai sertifikuotas 4G mobiliojo ryšio kartos standartas, tačiau nepaisant to nėra žinomas šio standarto diegimo laikas, tikriausiai tai priklausys nuo vartotojų poreikių ir šio standarto pritaikymo bendrai visame pasaulyje, bei nuo mobiliojo ryšio operatorių galimybių. Nepaisant to, yra diegiamas LTE standartas, kuris bus ir toliau tobulinamas, kad galima būtų teikti platesnį paslaugų spektrą ir vartotojams suteikti daugiau galimybių [7; 8].

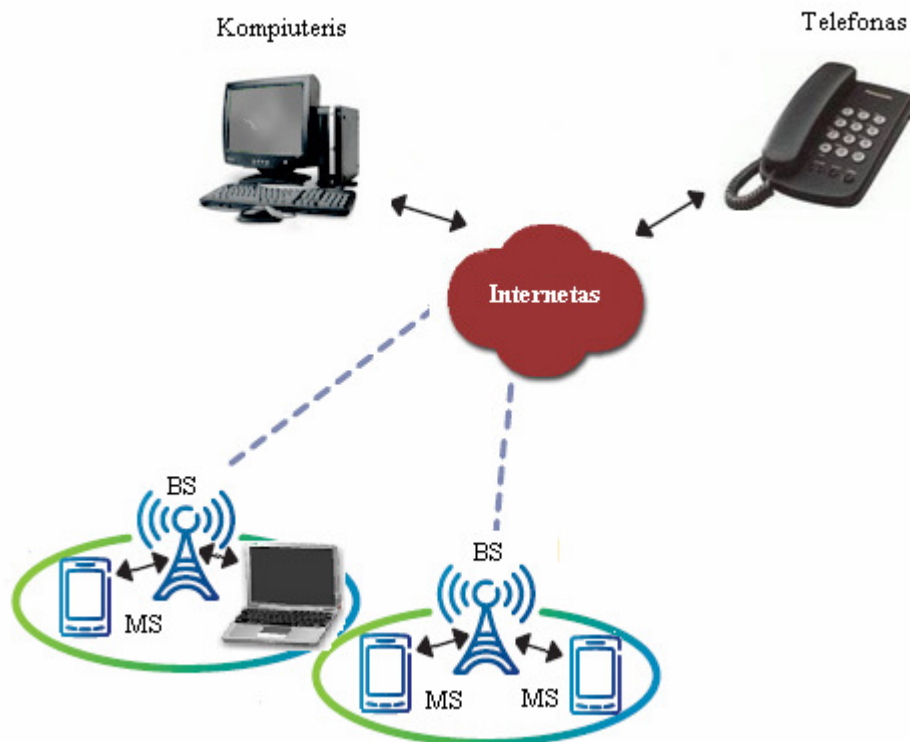
3. VoIP PASLAUGŲ LTE TINKLE KOKYBĖS TYRIMAS

VoIP – balso pranešimų perdavimas IP tinklais, šiais laikais yra plačiai naudojamas, balso pranešimų perdavimui internetu. Naudojant įrenginius pritaikytus balso pranešimų perdavimui paketais, balso pranešimai gali būti perduodami į visus prie interneto prijungtus įrenginius. Taip pat naudojant specialią įrangą, galima sujungti kelis skirtingus tinklus, pvz., fiksuoto ryšio telefonijos tinklą, mobiliojo ryšio telefonijos tinklą, VoIP, bei kitus. Standartinė VoIP veikimo schema yra balso pranešimo perdavimas tarp vartotojų įrenginių IP tinklais. Vartotojų įrenginiai gali būti VoIP telefonai, kompiuteriai ar kiti įrenginiai. Supaprastintas tokios struktūros variantas pateiktas 3.1 pav.



3.1 pav. Supaprastinta VoIP struktūra

Esant tokiai schemai, kiekvienas įrenginys yra prijungtas prie interneto taikant fizinį sujungimą. Siekiant suteikti VoIP paslaugas LTE tinkle, naudojant LTE tinklą kaip pernašos paslaugą ir prieigą prie interneto, vartotojų įrenginiai yra sujungiami taikant LTE mobiliojo ryšio prieigą. Tokiu atveju VoIP struktūra tampa sudėtingesnė, tačiau yra suteikiamos balso pranešimų perdavimo paslaugos mobiliojo tinklo abonementams. Supaprastinta VoIP paslaugų LTE tinkle struktūra pateikta 3.2 pav.



3.2 pav. Supaprastinta VoIP paslaugų LTE tinkle struktūra

Kaip matome iš 3.2 pav. mobiliosios stotys LTE tinkle duomenis perduoda į bazinės stoties, kurios priimtus duomenis perduoda į internetą. Tokiu atveju mobiliojo tinklo vartotojai gali komunikuoti su visais prie interneto prijungtais įrenginiais. Šiuo atveju LTE tinklas yra naudojamas kaip pernašos paslauga ir prieiga prie interneto, balso perdavime nėra naudojama LTE tinklo telefoniniams pokalbiams reikalinga įranga.

Perduodant balso pranešimus labai svarbu, kad šių pranešimų kokybė nesuprastėtų perdavimo metu. Teikiant VoIP paslaugas balso pranešimų kokybė, perduodant juos internetu, yra gan gera, balso pranešimų kokybės suprastėjimas vartotojams yra nepastebimas. Tačiau kaip pasikeis balso pranešimų kokybė, jei jų perdavimui naudosis LTE tinklą, kol kas nėra visiškai aišku. Naudojant LTE tinklą kaip prieigą prie interneto, nėra galimybės valdyti LTE tinklo parametrų, siekiant užtikrinti gerą paslaugų kokybę.

3.1. Balso pranešimų perdavimas tarp kompiuterių, naudojant LTE prieigą

Siekiant ištirti VoIP paslaugų LTE tinkle galimybes, reikia atlikti balso pranešimų perdavimą LTE tinklu ir patikrinti jų kokybę priėmimo taške. Šiam tikslui įgyvendinti galima panaudoti du kompiuterius, vieną kompiuterį prijungiame prie interneto taikant fizinį sujungimą, o kitame įdiegiame LTE tinklo modemą ir prieigai prie interneto naudojame LTE tinklą.



3.3 pav. Naudojama tinklo schema

Taikant 3.3 pav. schemą balso pranešimų perdavimui reikia naudoti tam skirtą programinę įrangą. Tyrimo metu bus naudojamas *PJSIP* programų rinkinys *Linux* operacinėje sistemoje. Tai yra atviro kodo programų rinkinys, sudarytas iš įvairių bibliotekų ir įrankių veikiančių pagal šių bibliotekų pagrindą komandinėje eilutėje. Balso pranešimų perdavimo tyrimui atlikti, yra naudojama viena iš *PJSIP* rinkinio programų - *PJSUA* programa. Ši programa yra gan paprasta, tačiau nepaisant to, savyje talpina daugelį savybių. Naudojant šią programą galima atlikti keletą skambučių vienu metu, arba atlikti konferencinius skambučius. Taikant šią programą, duomenys gali būti perduodami skirtingų tipų paketais, gali būti naudojami TCP, UDP arba TLS protokolai, taip pat yra numatyta galimybė taikyti IPv6 adresacijos versiją. Be to, *PJSUA* programa balso perdavimui leidžia naudoti keletą skirtingų kodekų, nuo kurių naudojimo gali priklausyti balso kokybė. 3.4 pav. pateiktas *PJSUA* programos langas, taikant *Linux* operacinę sistemą [9].

Call Commands:		Buddy, IM & Presence:		Account:	
m	Make new call	+b	Add new buddy	+	+
M	Make multiple calls	-b	Delete buddy	-	-
a	Answer call	i	Send IM	!	!
h	Hangup call (ha=all)	s	Subscribe presence	rr	(Re-)register
H	Hold call	u	Unsubscribe presence	ru	Unregister
v	re-inVite (release hold)	t	ToGgle Online status	>	Cycle next ac.
U	send UPDATE	T	Set online status	<	Cycle prev ac.
],[Select next/prev call		Media Commands:		Status & Config:	
x	Xfer call	cl	List ports	d	Dump status
X	Xfer with Replaces	cc	Connect port	dd	Dump detailed
#	Send RFC 2833 DTMF	cd	Disconnect port	dc	Dump config
*	Send DTMF with INFO	V	Adjust audio Volume	f	Save config
dq	Dump curr. call quality	Cp	Codec priorities		
S	Send arbitrary REQUEST				

q	QUIT	L	ReLoad	sleep MS	echo [0 1 txt]

You have 0 active call					
>>> █					

3.4 pav. *PJSUA* programos langas, *Terminal* programos lange

PJSUA programa *Linux* operacinėje sistemoje yra įjungiamą ir valdomą tekstinėmis komandomis *Terminal* programos lange. Įvedant tekstines komandas yra atliekamos sujungimo užklausos ir kiti nustatymai, reikalingi inicijuoti pokalbii. Toks programos valdymas nėra sudėtingas, tačiau rankiniu būdu įvedinėti komandas yra nepatogu, todėl geriau sukurti konfigūracinius failus ar skriptus, reikalingus pokalbiui tarp dviejų kompiuterių atlikti.

Naudojant anksčiau pateiktą schemą, abiejuose kompiuteriuose yra sukurią konfigūraciniai failai *PJSUA* programai, kuriuos paleidus *Terminal* programos lange yra vykdomas sujungimas tarp dviejų kompiuterių ir balso pranešimo perdavimas. Vienas kompiuteris dirba serverio režimu, o kitas kompiuteris vartotojo režimu. Siekiant įvykdyti sujungimą tarp šių kompiuterių, vienas iš kompiuterių turi prisijungti prie kito kompiuterio taikant IP adresą. 3.5 pav. pateiktas kompiuterio dirbančio serverio režimu konfigūracinis failas.

Serverio konfigūracija

<code>--local-port=7000</code>	Prievado numeris
<code>--null-audio</code>	Pažymime, kad nenaudosime garso perdavimo prietaisų
<code>--rec-file=priimtas.wav</code>	Nurodome kokių pavadinimu bus išsaugomas priimtas balso pranešimas
<code>--auto-rec</code>	
<code>--duration=40</code>	Nurodoma pokalbio trukmė
<code>--auto-answer=200</code>	Įjungiamas automatinis atsiliepimas
<code>--dis-codec=*</code>	
<code>--add-codec=PCMA/8000</code>	Nurodomas naudojamas kodekas ir diskretizacijos dažnis
<code>--no-vad</code>	Išjungiamas balso detektavimo algoritmas
<code>--clock-rate=8000</code>	
<code>--snd-clock-rate=8000</code>	
<code>--quality=10</code>	
<code>--ec-tail=0</code>	

3.5 pav. Kompiuterio, dirbančio serverio režimu konfigūravimas

Taikant šią konfigūraciją, kompiuteris veikia serverio režimu. Konfigūracijoje yra nurodomi atitinkami parametrai naudojami balso pranešimų perdavime. Nurodomas prievado numeris, pažymima, kad nėra naudojami garso perdavimo prietaisai (mikrofonai, garsiakalbiai), bei kiti parametrai, kurie pateikti 3.5 pav.

Kompiuterio veikiančio vartotojo režimu konfigūracija truputį skiriasi. Reikia nurodyti papildomus parametrus. Vartotojo režimu veikiančio kompiuterio konfigūracinis failas pateiktas 3.6 pav. Yra nurodomi deklaruojami parametrai, bei pateikti komentarai, ką šie parametrai vykdo. Abejuose kompiuteriuose yra naudojamas tas pats balso apdorojimo kodekas. Tiek siųstuvui tiek imtuvui yra naudojami tie patys kodekai abiejuose kompiuteriuose.

Vartotojo konfigūracija

<code>sip:78.60.69.120:7000</code>	Nurodomas sujungimui naudojamas protokolas, serverio IP adresas ir prievado numeris
<code>--local-port=7001</code>	Nurodomas prievado numeris
<code>--null-audio</code>	Pažymime, kad nenaudosime garso perdavimo prietaisų
<code>--play-file=perduodamas.wav</code>	Nurodome perduodamo failo pavadinimą
<code>--dis-codec=*</code>	
<code>--add-codec=PCMA/8000</code>	Nurodome naudojamą kodeką
<code>--no-vad</code>	Išjungiamo balso detektavimo algoritmą
<code>--quality=10</code>	
<code>--ec-tail=0</code>	
<code>--clock-rate=8000</code>	
<code>--snd-clock-rate=8000</code>	
<code>--auto-play</code>	Ijungiamo automatinį įrašymą
<code>--duration=40</code>	Nurodome pokalbio trukmę

3.6 pav. Kompiuterio, dirbančio vartotojo režimu konfigūravimas

Atlikus abiejų kompiuterių konfigūracijas ir paleidus *PJSUA* programą yra pradedamas pokalbis, tarp abiejų kompiuterių. Balso pranešimas iš vieno kompiuterio yra perduodamas į kitą ir įrašomas. Atlikus balso pranešimo perdavimą galima vykdyti šio pranešimo kokybės vertinimą.

3.2. Balso pranešimų perdavimo kokybės vertinimas

Vystantis telekomunikacijoms, kito ne tik balso perdavimo sistemos, bet ir balso pranešimų kokybės vertinimo principai. Jeigu anksčiau balso pranešimai buvo perduodami naudojant analoginę telefoniją, dabar balsas yra perduodamas naudojant skaitmeninius signalus ir naudojant įvairius tinklus, tiek fiksuotus, tiek bevielus ar mobiliuosius. Taigi, besivystant telekomunikacijoms reikia atitinkamai pritaikyti balso pranešimų kokybės vertinimo metodiką.

Telekomunikacijų srityje balso pranešimų kokybei įvertinti dažniausiai naudojama MOS (angl. *Mean Option Score*) skalė. Ši skalė naudoja įverčius nuo 1 iki 5 balų, kai 5 balai yra maksimalus įvertinimas. Vertinimas yra atliekamas balso pranešimus išklausančiam sudarytai ekspertų grupei. Ekspertai įvertina pranešimo kokybę atitinkamais balais, tada yra išvedamas vidurkis visų ekspertų grupės įvertinimų, gautas įvertis yra laikomas pranešimo kokybės MOS įverčiu. Tačiau tenka pripažinti, kad žmogiškųjų išteklių taikymas tokiems tikslams nėra labai praktiškas, be to yra perduodama labai daug balso pranešimų, kad nepakaktų žmogiškųjų išteklių siekiant įvertinti jų kokybę, todėl paprasčiau ir efektyviau yra naudoti kitas priemones.

Dažniausiai siekiant ištirti perduotų balso pranešimų kokybę, reikia palyginti išsiųstą ir priimtą pranešimus. Šiam tikslui įgyvendinti gali būti naudojamas *PESQ* algoritmas. Šis algoritmas yra standartizuotas, kaip ITU-T rekomendacija ir yra plačiai taikomas visame pasaulyje, siekiant įvertinti perduotų balso pranešimų kokybę. Tyrimo metu norint išvengti balso pranešimo kokybės suprastėjimo dėl aparatūrinių netikslumų (mikrofono ir garsiakalbių netikslumų), yra naudojamas etaloninis balso pranešimas pateiktas *PESQ* programos rinkinyje.

Perdavus šį pranešimą tarp kompiuterių yra tikrinama perduoto pranešimo kokybė, lyginant jį su išsiųstu pranešimu. Pranešimų kokybės vertinimas yra iki 4,5 balo, kai 4,5 yra aukščiausias įvertinimas [10].

```
Reading reference file perduodamas.wav...done.  
Reading degraded file priimtas.wav...done.  
Level normalization...  
IRS filtering...  
Variable delay compensation...  
Acoustic model processing...  
  
P.862 Prediction (Raw MOS, MOS-LQO): = 4.500 4.549  
justas@justas-desktop:~/Desktop/pjsua$
```

3.7 pav. *PESQ* algoritmo pateiktas perduoto pranešimo kokybės įvertis

3.7 pav. pateiktas *PESQ* algoritmo įvertis rodo, kad pranešimas buvo perduotas visiškai be iškraipymų. Jeigu pranešimas būtų bent truputį pakitęs, MOS skalės įvertis būtų mažesnis, tačiau kartais vartotojas gali ir nepajusti pranešimo kokybės suprastėjimo dėl to, kad programiškai pastebimi iškraipymai gali būti nepastebimi žmogaus ausiai.

Žinoma, balso pranešimų kokybei vertinti gali būti naudojamos kitos aparatinės ir programinės priemonės. Dauguma tokių priemonių veikia panašiu principu kaip ir *PESQ* algoritmas, yra atliekamas išsiųsto ir priimto pranešimo lyginimas įvairiais aspektais. Yra vertinamas vėlinimas, įvairūs iškraipymai. Kai kurios programos lygina balso pranešimų spektrus laiko ašyje, atsižvelgiant į įvairius kriterijus yra taikomi įvairūs algoritmai, tačiau *PESQ* algoritmas yra laikomas vienu patikimiausių algoritmų balso kokybei vertinti. Šis algoritmas gali įvertinti iškraipymus, kurie sukuriama balso kodavimo metu, dėl perdavimo kanalo klaidų, išorinių triukšmų, kodekų įtakos balso signalams, ar duomenų paketų praradimo [10].

3.3. Balso pranešimų perdavimo kokybės tyrimas

Tyrimo metu buvo tiriama balso pranešimų kokybė taikant skirtingus kodekus, tai pat šie pranešimai buvo perduodami skirtingomis sąsajomis. Buvo naudojamos dvi tinklo schemos, kai kompiuteriai tarpusavyje sujungti fizine fiksuota sąsaja – internetu ir kai kompiuteriai tarpusavyje sujungti prieigai prie interneto naudojant LTE tinklą. Pirmu atveju yra imituojamas tradicinis VoIP veikimas. Kadangi VoIP yra plačiai taikomas visame pasaulyje ir yra įrodyta, kad pranešimų kokybė perduodant balso pranešimus IP tinklais yra gera ir tenkinanti vartotojus, buvo nuspręsta palyginti perduotų pranešimų kokybę taikant tradicinį VoIP ir perdavimui taikant LTE prieigą. Tyrimo metu buvo atliekama po 15 balso pranešimų perdavimų, taikant skirtingus kodekus ir esant skirtingoms tinklo schemoms.

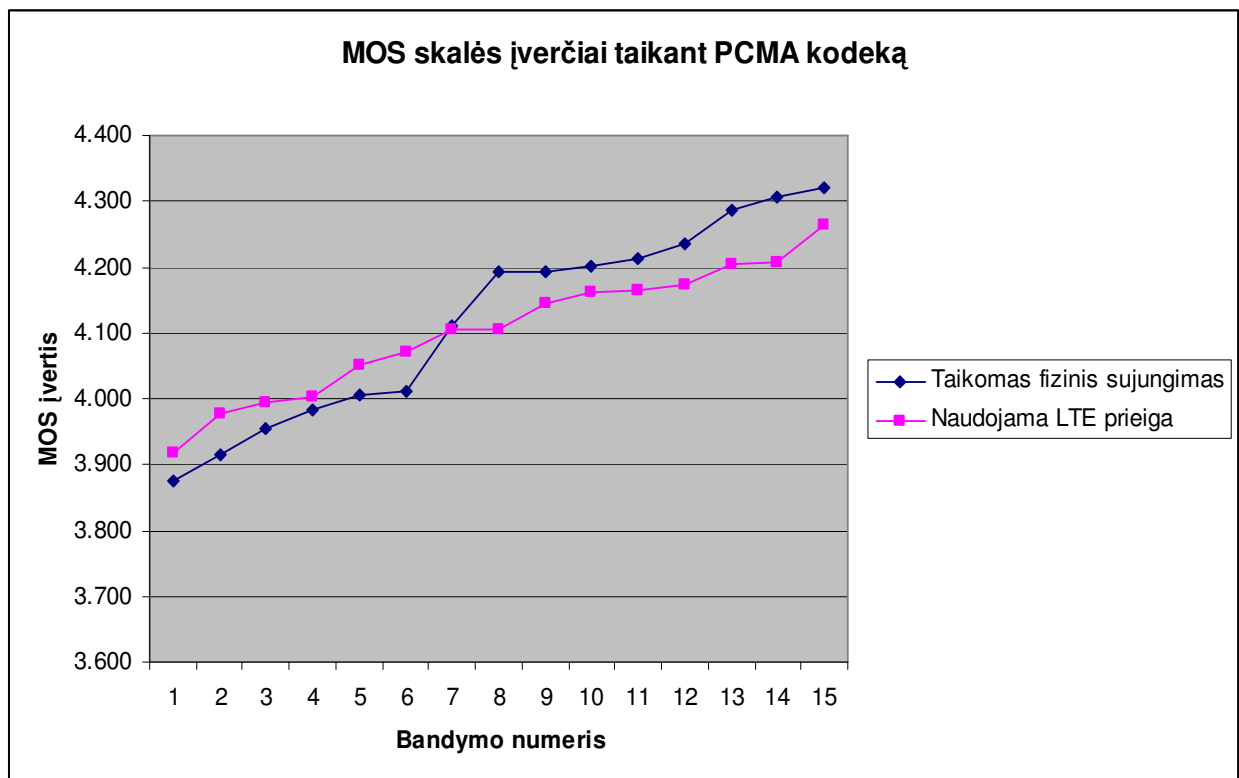
Taikant *PJSUA* programą visi naudoti kodekai buvo įgyvendinami programiškai ir buvo stebima, kaip pakis pranešimų kokybė taikant skirtingus kodekus. Skirtingi kodekai atlieka skirtingas balso pranešimų apdorojimo operacijas, dėl kurių gali pakisti pranešimų kokybė. Taip pat nėra visiškai aišku, kaip pakis pranešimų kokybė taikant tuos pačius kodekus, tačiau naudojant skirtingas perdavimo terpes – fizinį sujungimą ir LTE prieigą. Jei pranešimų kokybės yra panašios taikant tą patį kodeką ir pranešimus perduodant skirtingomis terpėmis, galima padaryti išvadą, kad abi pranešimų perdavimui taikomos terpės yra panašių savybių. Jei viena naudojama terpė jau seniai yra taikoma balso pranešimų perdavimui, galima teigti, kad ir kita terpe galima perdavinėti balso pranešimus tokiomis pačiomis sąlygomis, kaip ir pirmąją terpe.

Pirmiausiai buvo atliekamas tyrimas taikant G 7.11 arba PCMA kodeką. Kodekas – tai aparatūriškai arba programiškai įgyvendinama sistema, kuri atlieka signalo kodavimą, dekodavimą ir filtravimą. Visa tai yra atliekama norit sumažinti arba išskleisti skaitmeninį medijos failą arba signalą. Šiuo atveju kodekas koduoja balso failą ir paruošia jį perdavimui. Priėmimo vietoje kodekas dekoduoja priimtą balso failą ir atkuria pradinį jo formatą.

PCM kodekas yra ITU- T standartas audio failų apdorojimui, skirtas konvertuoti analoginį balso signalą į skaitmeninį ir atvirkščiai. Pirminis jo panaudojimas yra telefonija. Šis kodekas yra plačiai taikomas balso pranešimų perdavimui įvairiose ryšio sistemose. Mūsų atveju bus naudojamas Europoje taikomas PCM kodeko A dėsnis (angl. *A- Law*), esant 8 kHz diskretizavimo dažniui, suteikiant 64 kb/s spartą [11].

Kaip yra žinoma, žmogaus balso sukuriama bangos yra 300 – 3400 Hz dažnių ruože, siekiant išvengti nepageidaujamų signalo iškraipymų, PCM kodekas atlieka dvipusį filtravimą, tiek perduodant, tiek priimant signalą. Žemų dažnių (angl. *Low pass*) filtras nufiltruoja signalus, kurių dažniai yra aukštesni nei 4 kHz, o aukštų dažnių (angl. *High pass*) filtras nufiltruoja signalus, kurių dažniai yra žemesni nei 100 Hz. Taip yra sumažinami perdavimo terpės sukeliama triukšmai ir pagerinama balso pranešimų kokybė [11].

Tyrimų metu buvo atliekama po 15 balso perdavimų, arba kitaip tariant, po 15 VoIP skambučių taikant fiksuotą prieigą ir LTE prieigą. Buvo gauta po 15 atsitiktinių kokybės įverčių reikšmių. Duomenys apie perduotų balso pranešimų kokybę, taikant PCMA kodeką ir naudojant fizinį sujungimą, bei LTE prieigą, ryšiui tarp dviejų kompiuterių sudaryti, pateikti grafiškai 3.9 pav. didėjimo tvarka, nuo mažiausios iki didžiausios gautos MOS skalės įverčių reikšmės.



3.9 pav. MOS skalės įverčių pasiskirstymas didėjimo tvarka, taikant PCMA kodeką

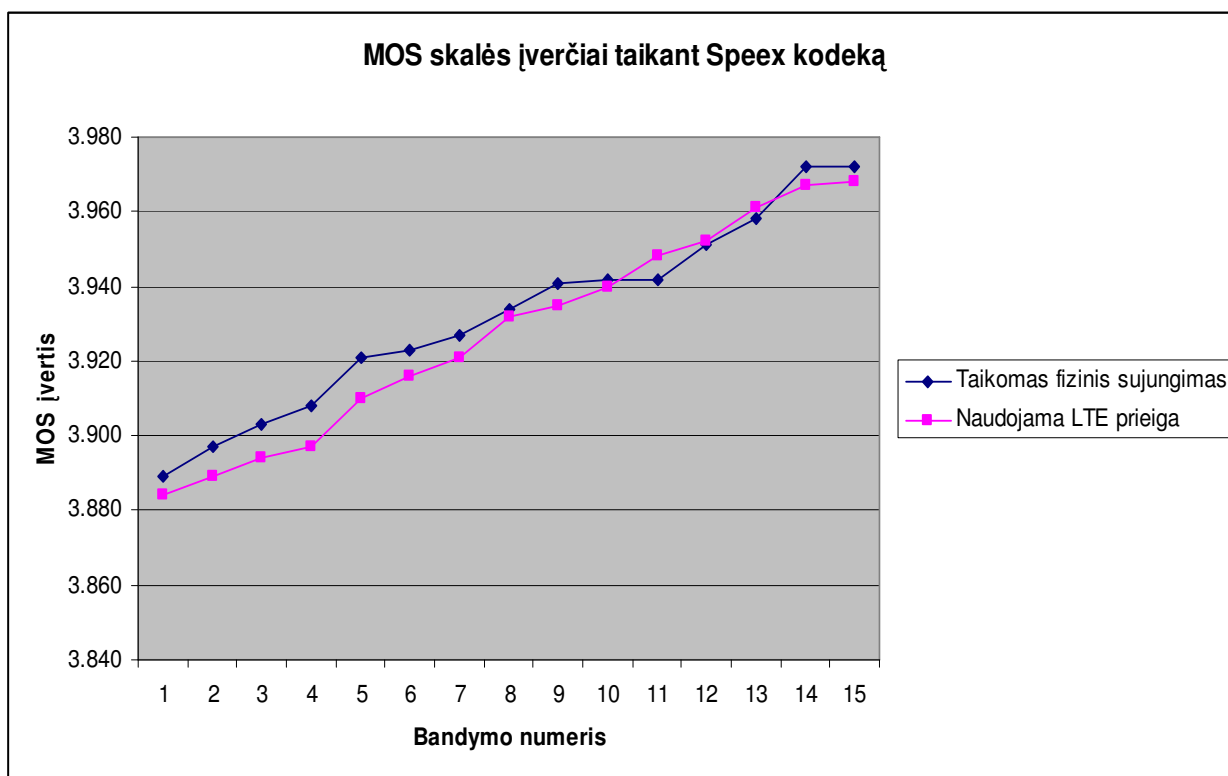
Kaip galima pastebėti iš grafiko taikant PCMA kodeką balso pranešimų kokybė svyruoja nuo 3,89 iki 4,31. Maksimalios MOS skalės vertės nepasiekia. Taip yra todėl, kad balso pranešimas yra perduodamas su nežymiais pakitimais. Šie pakitimai gali įvykti dėl daugelio priežasčių: dėl dalinimo į paketus, kodavimo, bei šifravimo triukšmų, dėl programinės ir aparatūrinės dalies netikslumų, įgyvendinant sujungimą tarp dviejų kompiuterių naudojant *PJSUA* programą, susidariusio vėlinimo, bei daugelio kitų dalykų. Reikia nepamiršti, kad tyrimai buvo atliekami realiomis sąlygomis, naudojant realiai veikiančius IP ir LTE tinklus Lietuvoje. Šiuose tinkluose yra nuolat perduodami duomenys. Skirtingais laiko momentais tinkle perduodami duomenų srautai skiriasi, gali skirtis ir naudojamų kanalų charakteristikos, dėl to gali svyruoti perduodamų pranešimų kokybė, nes pranešimai perduodami ne idealiomis, o realiomis sąlygomis. Tačiau iš grafiko matyti, kad balso pranešimų kokybė taikant fizinį sujungimą ir LTE prieigą yra panaši. Gautos vidutinės visos sesijos pranešimų kokybės vertės yra beveik identiškos. Taikant fiksuotą sujungimą gaunama vidutinė sesijos pranešimų perdavimo kokybė yra 4,120, o taikant LTE prieigą – 4,103. Todėl galima teigti, kad abi naudojamos sąsajos daro vienodą įtaką perduodamų balso pranešimų kokybei.

Siekiant įsitikinti gautais rezultatais, buvo atliekami bandymai naudojant speex ir G 7.22 kodekus. Speex yra atviro kodo programinė įranga, skirta balso pranešimų kompresijai. Šis kodekas yra kaip alternatyva balso pranešimų perdavimui taikomų programų kūrimui ir

naudojimui, netaikant papildomai patentuotų balso pranešimų apdorojimo priemonių. Taip pat šis kodekas yra pritaikytas programoms, kuriomis yra perduodami balso pranešimai internetu. Be to šis kodekas pasižymi įvairiomis savybėmis, tokiomis kaip, paketų praradimo nuslėpimas, balso aktyvumo nustatymas, kintamo bitų kiekio operacijų vykdymas, aidų bei triukšmų slopinimas ir kitomis [12].

Speex kodekas taip pat pasižymi tuo, kad atlieka kompresiją esant skirtingoms spartoms, nuo 2 iki 44 kb/s. Tai reiškia, kad perduodant tą patį balso pranešimą, naudojant skirtingas spartas, generuojamas skirtingo dydžio duomenų srautas. Taip pat gali būti naudojami skirtingi diskretizavimo dažniai – 8, 16, 32 kHz [12].

Tyrimo metu naudojant speex kodeką gauti 15 bandymų rezultatai, taikant fiksuotą prieigą prie interneto ir LTE prieigą, esant 8 kHz diskretizacijos dažniui pateikti 3.10 pav. didėjimo tvarka.



3.10 pav. MOS skalės įverčių pasiskirstymas didėjimo tvarka, taikant speex kodeką

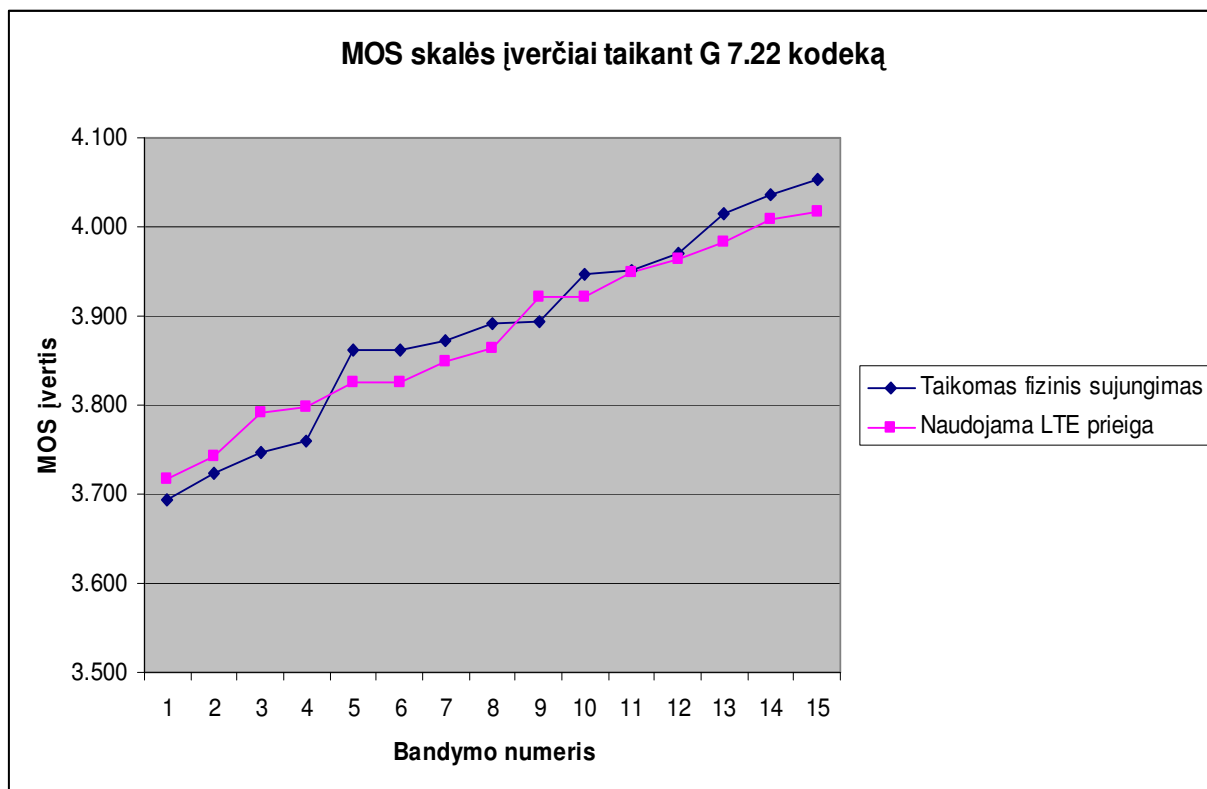
Iš tyrimo metu gautų duomenų matyti, kad taikant speex kodeką perduotų balso pranešimų kokybė yra prastesnė, nei taikant PCMA kodeką. Pranešimų kokybė svyruoja nuo 3,884 iki 3,97 MOS skalės įverčių, tuo tarpu kai taikant PCMA kodeką, kokybė svyruoja nuo 3,89 iki 4,31 MOS skalės įverčių. Tačiau kaip ir pirmu atveju, tiek taikant fizinį sujungimą, tiek naudojant LTE prieigą, perduotų balso pranešimų kokybės yra panašios. Gautos vidutinės sesijos pranešimų kokybės yra 3,939 taikant fizinį sujungimą ir 3,927 – taikant LTE prieigą. Taigi galima teigti, kad ir šiuo atveju naudojamų perdavimo terpių įtaka balso pranešimų perdavimo

kokybei yra panaši arba beveik vienoda. Balso pranešimų perdavimo kokybė suprastėjo dėl taikomo speex kodeko specifinių veiksmų, apdorojant balso pranešimus.

Atlikus balso pranešimų perdavimo kokybės tyrimą, taikant speex kodeką galima teigti, kad nors gauta balso pranešimų perdavimo kokybė yra šiek tiek prastesnė, nei PCMA kodeko atveju, tačiau galima taikyti ir atviro kodo speex kodeką, kuris yra plačiai naudojamas įvairiose programose, perduodant balsą internetu. Tokiu atveju balso pranešimų perdavimo aplikacijų kūrimas tampa paprastesnis ir pigesnis.

Taip pat buvo atliekami tyrimai taikant G 7.22 kodeką, esant 16 kHz diskretizacijos dažniui. Šis kodekas yra plačiąjuostis ir dalina dažnių juostą į dvi – aukštesnę ir žemesnę dažnių juostas ir kiekvieną iš šių dažnio juostų koduoja ADPCM būdu. Yra trys pagrindiniai duomenų kodavimo lygiai priklausomai nuo bitų tankio, esant 7 kHz audio kodavimui: 64, 56 ir 48 kb/s. Taip pat yra galimybė sukurti pagalbinį 8 ir 16 kb/s spartos duomenų kanalą, pasinaudojant bitais iš žemesnės dažnių juostos [13].

Tyrimo metu gauti balso pranešimų perdavimo kokybės įverčiai taikant G 7.22 kodeką pateikti 3.11 pav. didėjimo tvarka.



3.11 pav. MOS skalės įverčių pasiskirstymas didėjimo tvarka, taikant G 7.22 kodeką

Iš gautų duomenų galima pastebėti, kad balso pranešimų perdavimo kokybė, taikant G 7.22 kodeką svyruoja nuo 3,70 iki 4,05 MOS skalės įverčių. Matome, kad naudojant šį kodeką yra gaunama prastesnė kokybė nei taikant PCMA kodeką, taip pat lyginant su speex kodeku yra

jaučiami didesni kokybės įverčių svyravimai. Tačiau kaip ir kitų kodekų taikymo atvejais, naudojamų skirtingų perdavimo terpių įtaka balso pranešimų perdavimo kokybei yra panaši, nes gautos vidutinės sesijos pranešimų kokybės įverčių reikšmės yra labai panašios. Taikant fizinį sujungimą gauta vidutinė reikšmė yra 3,885, o taikant LTE prieigą – 3,878. Taigi, naudojant LTE tinklo prieigą, kaip ir taikant fizinį sujungimą, balso pranešimų perdavimui galima taikyti įvairius kodekus, žinoma taikomi kodekai turi įtakos balso pranešimų perdavimo kokybei, todėl patartina naudoti efektyvesnius kodekus, kuriuos taikant gaunama geresnė balso pranešimų perdavimo kokybė.

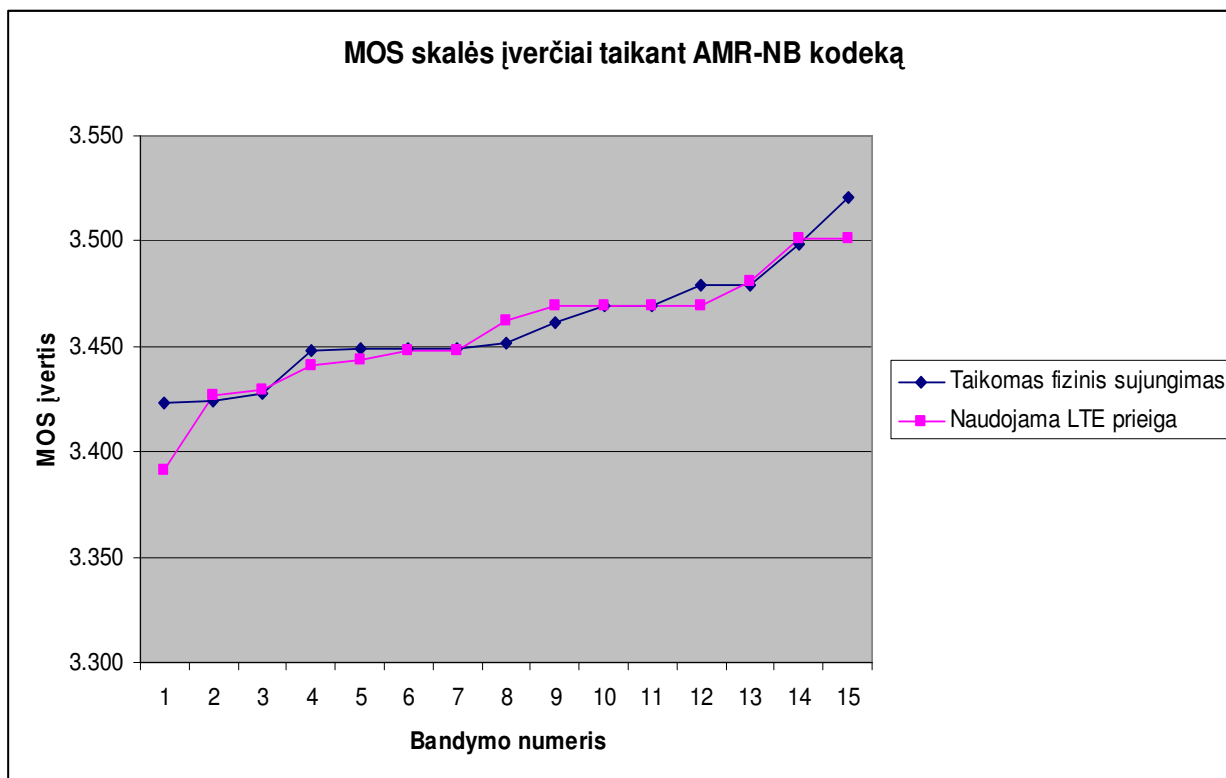
Taip pat buvo pastebėta, kad nepriklausomai nuo naudojamo kodeko ar naudojamos perdavimo terpės, atliekant tyrimus, vykdant balso pranešimų perdavimus tarp kompiuterių nebuvo prarandami paketai. Iš to galima spręsti, kad taikant LTE tinklo prieigą vartotojui yra suteikiamas kokybiškas ryšys, kuris pagal savo charakteristikas nenusileidžia fiksuotam ryšiui taikant fizinius sujungimus. Žinoma, galima prisiminti, kad LTE standarto suteikiama duomenų perdavimo sparta kinta priklausomai nuo vartotojų skaičiaus, kuo daugiau vartotojų, tuo mažesne duomenų perdavimo sparta jie gali naudotis. Todėl buvo mėginama atlikti balso pranešimų perdavimą skirtingu paros metu, taip stebint, kaip pakis šių pranešimų kokybė, priklausomai nuo skirtingu paros metu vartotojų sukuriamos apkrovos. Buvo mėginama balso pranešimus perduoti ryte, dieną ir vakare, tikėtina, jog vakare LTE ryšiu naudojasi didžiausias skaičius vartotojų. Tokiu atveju, gali stipriai sumažėti duomenų perdavimo sparta, be to spartos sumažėjimas ir didelė tinklo apkrova gali turėti įtakos balso pranešimų kokybei, gali atsirasti didesnis vėlinimas, bei didesni triukšmai.

Tyrimo metu perduodami balso pranešimai LTE tinkle yra traktuojami kaip duomenų paketai, todėl nėra galimybės kontroliuoti paslaugų kokybės. Tačiau nepaisant to nebuvo pastebėta balso pranešimų kokybės suprastėjimo. Tyrimo metu balso pranešimų kokybė nepriklausė nuo skirtingu paros metu generuojamų skirtingų tinklo apkrovų. Žinoma, taip galėjo nutikti, nes LTE tinklo apkrova nebuvo pakankamai didelė, kad sudarytų įtaką balso pranešimų kokybei. Šiuo metu LTE paslaugų skvarba Lietuvoje nėra labai didelė, todėl vartotojų sukuriamos tinklo apkrovos yra gan mažos, tačiau laikui bėgant gali būti, kad LTE tinklas bus apkrautas kur kas stipriau. Todėl mobiliojo ryšio tinkle dėl didelio vartotojų skaičiaus ir jų sukuriamos didelės apkrovos ir generuojamų duomenų srautų yra naudojami kodekai, kurie koduoja balso pranešimus maža duomenų sparta nesukuriant didelio duomenų srauto. Taip yra sumažinami balso pranešimų generuojami duomenų srautai, automatiškai šiems srautams perduoti nereikia didelės duomenų perdavimo spartos, kuri LTE tinkle mažėja, didėjant vartotojų skaičiui.

Vienas iš tokių kodekų yra AMR kodekas. Yra išskiriami du AMR kodekai, siaurajuostis AMR (AMR-NB) ir plačiajuostis AMR (AMR-WB). AMR-NB yra skirtas būtent balso kodavimui, šis kodekas koduoja balso signalus 200-3400 Hz ruože, esant skirtingai bitų kodavimo spartai nuo 4,75 iki 12,2 kb/s, naudojant 8 kHz diskretizavimo dažnį. AMR-WB koduoja signalus 50-7000 Hz dažnių ruože, šis ruožas yra kur kas platesnis nei siaurajuosčio AMR kodeko. Taip pat yra suteikiamas didesnis spartų diapazonas. AMR-WB suteikia 6,6 - 23,85 kb/s kodavimo spartas naudojant 16 kHz diskretizavimo dažnį [14].

Įvertinant tai, kad LTE mobiliojo ryšio tinkle duomenų perdavimo sparta priklauso nuo vartotojų kiekio, didėjant vartotojų skaičiui mažėja vienam vartotojui tenkanti duomenų perdavimo sparta, buvo atliekami tyrimai balso pranešimų perdavimui naudojant AMR kodekus. Kadangi *PJSUA* programoje, kuri yra naudojama balso pranešimų perdavimui nebuvo įtrauktas šių kodekų naudojimas, tenka įdiegti papildomas AMR bibliotekas. Atlikus bibliotekų įdiegimo veiksmus galima vykdyti balso pranešimų perdavimą naudojant AMR kodekus.

Tyrimo metu gauti balso pranešimų perdavimo kokybės įverčiai taikant AMR-NB kodeką, esant 7,4 kb/s spartai pateikti 3.12 pav. didėjimo tvarka.

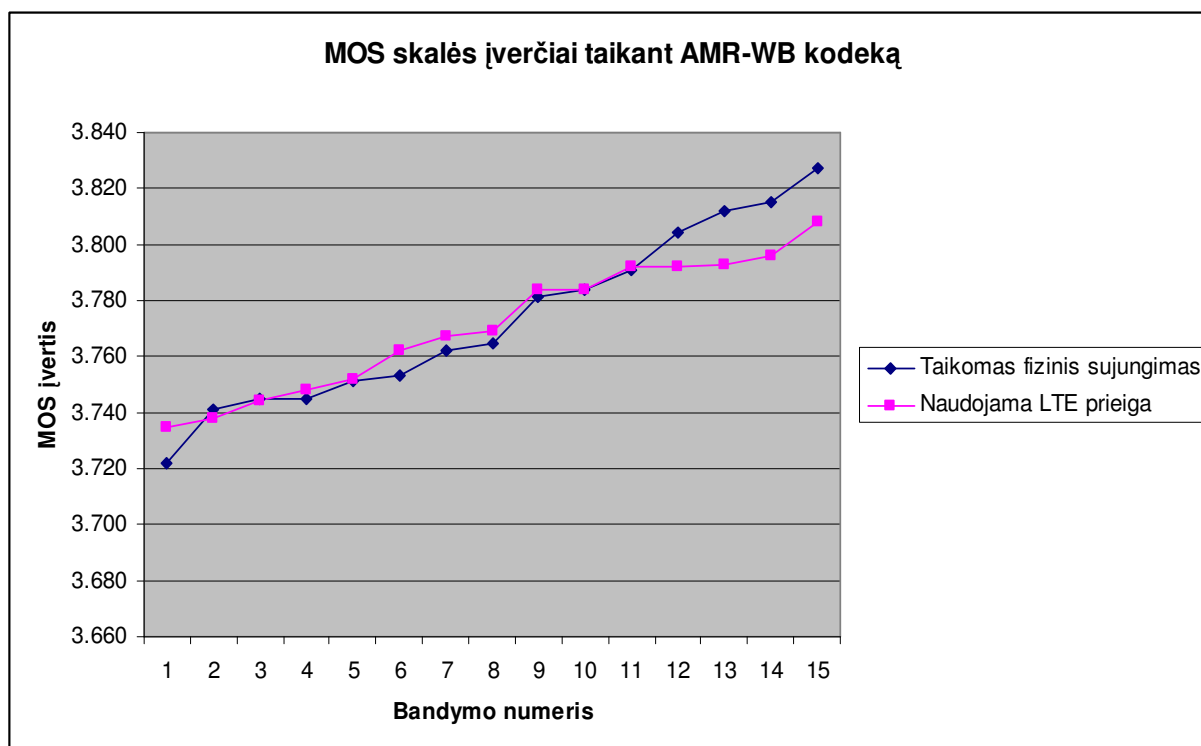


3.12 pav. MOS skalės įverčių pasiskirstymas didėjimo tvarka, taikant AMR-NB kodeką

Iš tyrimo metu gautų duomenų galima pastebėti, kad balso pranešimų perdavimo kokybė, taikant AMR-NB kodeką svyruoja nuo 3,39 iki 3,52 MOS skalės įverčių. Matyti, kad kol kas iš visų naudotų kodekų, naudojant AMR-NB kodeką, gaunama prasčiausia balso pranešimų

perdavimo kokybė. Tačiau šiuo atveju balso pranešimo generuojamas srautas siekia tik 7,6 kb/s. Taikant šį kodeką yra atliekama kur kas didesnė kompresija nei naudojant kitus kodekus, taip yra suteikiamos galimybės perduoti balso pranešimus esant mažai duomenų perdavimo spartai. Taip pat galima pastebėti, kad kaip ir kitų kodekų taikymo atvejais, naudojamų perdavimo terpių įtakos balso pranešimų perdavimo kokybei yra vienodos, nes gautos vidutinės sesijos pranešimų kokybės įverčių reikšmės yra beveik identiškos. Taikant fizinį sujungimą gauta vidutinė reikšmė yra 3,459, o taikant LTE prieigą – 3,456. Taigi, šiuo atveju balso pranešimų kokybė priklauso nuo naudojamų kodekų, o ne nuo naudojamų perdavimo terpių tarpusavio skirtumų. Tačiau įvairiais atvejais taikant skirtingas perdavimo terpes, kurios suteikia skirtingas duomenų perdavimo spartas nėra galimybės naudoti tų pačių kodekų, todėl tenka ieškoti alternatyvų ir balso pranešimų perdavimui naudoti kitus kodekus, kurie gali turėti įtakos balso pranešimų kokybei. Kaip alternatyva tokiems veiksams atlikti gali būti naudojamas AMR-NB kodekas, nors taikant šį kodeką kokybė yra prastesnė, nei taikant kitus kodekus, bet yra generuojamas labai mažas duomenų srautas.

Taip pat buvo atliekami tyrimai naudojant AMR-WB kodeką. Tyrimo metu gauti balso pranešimų perdavimo kokybės įverčiai taikant AMR-WB kodeką, esant 15,8 kb/s spartai naudojant 16 kHz diskretizacijos dažnį pateikti 3.13 pav. didėjimo tvarka.



3.13 pav. MOS skalės įverčių pasiskirstymas didėjimo tvarka, taikant AMR-WB kodeką

Iš pateiktų duomenų galima pastebėti, kad balso pranešimų perdavimo kokybė, taikant AMR-WB kodeką svyruoja nuo 3,72 iki 3,83 MOS skalės įverčių, taigi, yra gaunama geresnė

kokybė, nei naudojant AMR-NB kodeką, tačiau yra generuojamas dvigubai didesnis srautas. Kalbant apie sąsajos įtaką pranešimų kokybei, žymių skirtumų tarp skirtingomis sąsajomis perduotų pranešimų kokybės nėra. Taikant fizinį sujungimą gauta vidutinė pranešimų kokybės reikšmė yra 3,773, o taikant LTE prieigą – 3,770. Taigi, dar kartą įsitikinome, kad balso pranešimų kokybė priklauso nuo naudojamų kodekų, o tyrime naudojamų perdavimo terpių įtaka yra panaši.

Žinoma, kaip jau buvo minėta anksčiau, kartais taikant skirtingas perdavimo terpes nėra galimybės naudoti tų pačių kodekų, todėl tenka ieškoti alternatyvų ir balso pranešimų perdavimui naudoti kodekus, kurie atlieka skirtingus veiksmus su balso pranešimais, todėl kokybė gali kisti, taikant skirtingus kodekus. Taip pat naudojant paketinį duomenų perdavimo būdą, balso pranešimų perdavimo terpės yra kintamų parametrų. Generuojami skirtingi duomenų srautai, kartais šie srautai gali būti tokie dideli, kad norint teikti balso pranešimų perdavimo paslaugas, tenka mažinti balso pranešimų apimtį. Pranešimų apimtys yra mažinamos kodekų pagalba. Kiekvienas kodekas skirtingai apdoroja balso pranešimus ir nustato minimalią duomenų perdavimo spartą, kuriai esant pranešimų kokybė turėtų būti priimtina. Tyrimo metu taikant skirtingus kodekus gautos vidutinės perduotų balso pranešimų kokybės įverčių reikšmės pateiktos 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė Kokybės įverčiai taikant skirtingus kodekus

Naudojamas kodekas	Vidutinis MOS skalės įvertis taikant fizinį sujungimą	Vidutinis MOS skalės įvertis taikant LTE prieigą
PCMA	4,120	4,103
Speex	3,932	3,927
G 7.22	3,885	3,878
AMR-NB	3,459	3,456
AMR-WB	3,773	3,770

Atlikus tyrimus iš gautų duomenų matyti, kad pranešimų kokybė nėra optimali. Visiškai nepakitusių pranešimų perduoti nepavyko, taikant skirtingus kodekus gauta perduotų pranešimų kokybė skiriasi, tačiau visais atvejais ji yra gan gera ir klausant perduotus balso pranešimus, galima teigti, kad daugeliu atveju pakitimai yra nežymūs arba net žmogaus ausiai negirdimi. Taikant skirtingus kodekus perduotų balso pranešimų kokybė skiriasi, dėl specifinių kiekvieno kodeko kodavimo algoritmų ir diskretizacijos procesų, tačiau perdavimo terpių įtakos balso pranešimų kokybei yra beveik vienodos. Naudojamos skirtingos perdavimo terpės vienodai tinka visiems naudotiems kodekams. Taikant LTE prieigą kokybė yra truputį prastesnė, tačiau suprastėjimas yra nežymus. Iš naudotų kodekų, efektyviausias kodekas yra PCMA, taikant šį kodeką gaunama geriausia balso pranešimų kokybė. Taigi, geriausia balso kokybė yra gaunama taikant tuos kodekus, kurie atlieka nedidelę balso kompresiją. Tokiu būdu perduodami balso

pranešimai yra didesnės apimties ir perduodant šiuos pranešimus reikia didesnės perdavimo spartos. Siekiant sumažinti balso pranešimų apimtį gali būti naudojami kodekai, kurie atlieka didesnę balso pranešimų kompresiją, tokių balso pranešimų perdavimui pakanka mažesnės duomenų perdavimo spartos.

Taigi, tyrimo metu buvo stebimi ne tik balso pranešimų kokybės pokyčiai, priklausantys nuo skirtingų kodekų naudojimo, bet ir generuojamų duomenų srautų dydžių priklausomybė. Taikant skirtingus kodekus, tas pats balso pranešimas gali būti skirtingo dydžio, atitinkamai skirtingiems informacijos kiekiams perduoti reikia skirtingos duomenų perdavimo spartos. Tyrimo metu buvo stebima koks informacijos kiekis, įskaitant balso pranešimą ir tarnybinę informaciją, taikant *PJSUA* programą, sujungimo sudarymo ir balso pranešimo perdavimo metu, yra perduodamas naudojant penkis anksčiau paminėtus kodekus. Informacija apie reikiamos duomenų perdavimo spartos priklausomybę nuo naudojamo kodeko pateikta 3.2 lentelėje.

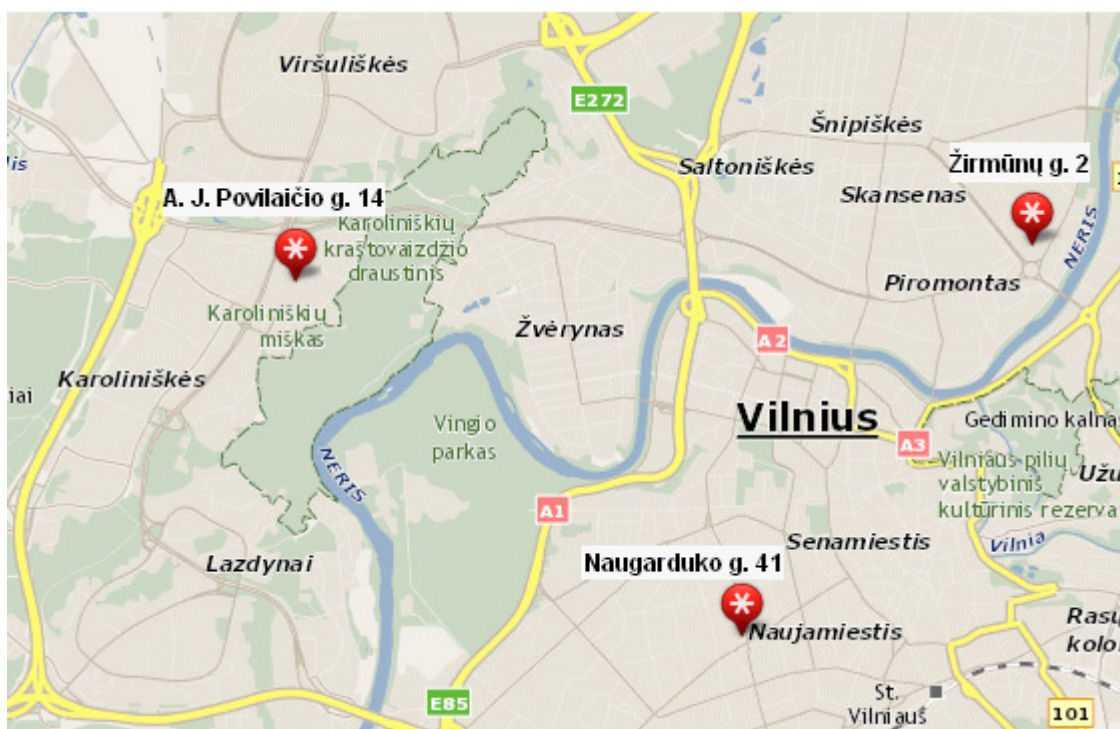
3.2 lentelė Reikiama duomenų perdavimo sparta naudojant skirtingus kodekus

Naudojamas kodekas	Reikalinga duomenų perdavimo sparta
PCMA	100 kb/s
Speex	50 kb/s
G 7.22	90 kb/s
AMR-NB	30 kb/s
AMR-WB	40 kb/s

Iš pateiktų duomenų matyti, kad reikiama duomenų perdavimo sparta siekia iki 100 kb/s. Atsižvelgiant į balso pranešimų kokybės ir reikiamos duomenų perdavimo spartos įverčius taikant skirtingus kodekus galima pastebėti, kad geriausia pranešimų kokybė yra gaunama naudojant PCMA kodeką, kuris reikalauja didžiausios duomenų perdavimo spartos. Naudojant kitus kodekus yra gaunama prastesnė kokybė, tačiau yra reikalaujama mažesnės duomenų perdavimo spartos. Atsižvelgiant į balso pranešimų įverčių reikšmių ir reikalingos duomenų perdavimo spartos verčių santykį, galima pastebėti, kad vertinant pagal šį kriterijų efektyviausi kodekai yra tie kurie reikalauja mažiausios duomenų perdavimo spartos. Tačiau nepaisant to, net ir naudojant didelės duomenų perdavimo spartos reikalaujančius kodekus, ši sparta nėra labai didelė ir LTE technologija tikrai gali suteikti kur kas didesnę duomenų perdavimo spartą, nei yra reikalaujama. Atsižvelgiant į tai, kad naudojant LTE technologiją numatyta minimali vienam vartotojui tenkanti duomenų perdavimo sparta yra kintanti ir kiekvienas LTE tinklo operatorius gali nustatyti minimalią spartą vienam vartotojui, yra svarbu, kad ši sparta nebūtų mažesnė už reikiamą. Dažnai LTE tinklo operatoriai nustato minimalią vienam vartotojui tenkančią duomenų perdavimo spartą, kuri yra apie 120 kb/s, taigi, net taikant PCMA kodeką, kiekvienas vartotojas turės galimybę naudotis VoIP paslaugomis. Tačiau LTE tinklo operatoriai gali nustatyti

mažesnes minimalias duomenų perdavimo spartas ir tada ši duomenų perdavimo sparta gali būti nepakankama, taikant kai kuriuos kodekus. Be to, jei naudojantis viena LTE prieiga, vienu metu keli vartotojai norėtų naudotis paslaugomis, esant didelei tinklo apkrovai, duomenų perdavimo sparta tenkanti naudojamai prieigai, gali būti nepakankama, todėl VoIP paslaugos bus nesuteiktos arba nekokybiškos. Siekiant to išvengti reikia įvertinti LTE prieigos suteikiamą duomenų perdavimo spartą ir šia prieiga besinaudojančių vartotojų generuojamą duomenų srautą.

Atliekant tyrimą LTE ryšio paslaugomis kol kas buvo naudojamosi tik iš vieno taško. Siekiant įsitikinti, kaip skirtingos ryšio sąlygos veikia LTE tinklu perduodamų balso pranešimų kokybę, buvo atliekami balso pranešimų perdavimai iš skirtingų Vilniaus miesto vietų. Tokiu būdu yra imituojamos realios sąlygos, kai vartotojas nežino kokiu atstumu nuo bazinės stoties jis yra, kokia kryptimi yra orientuotos antenos, bei daugelio kitų faktorių. Taip pat kiekvienoje vietoje yra skirtingi signalo lygiai, atspindžių skaičiai bei signalo slopinimai. Visi šie niuansai gali turėti įtakos balso pranešimų perdavimo kokybei, todėl buvo pasirinktos dar dvi Vilniaus miesto vietos. Visos trys vietos kuriose buvo atliekami balso pranešimų perdavimai, yra pateiktos 3.14 pav. žemėlapyje.



3.14 pav. Balso pranešimų perdavimo iš skirtingų taškų žemėlapis

Atlikus bandymus iš skirtingų vietų, taikant skirtingus kodekus, nebuvo pastebėta LTE ryšio sutrikimų ir žymių balso pranešimų kokybės įverčių pasikeitimo. Kiekvienu atveju balso pranešimų kokybės įverčiai svyravo panašiose ribose, taikant skirtingus kodekus. Gautas

vidutinės kokybės įverčių reikšmės skirtingose vietose yra labai panašios, todėl galima teigti, kad vertinant balso pranešimų kokybę geografinės dispersijos atveju, taip pat kaip ir skirtingu paros metu, balso pranešimų kokybė išlieka beveik tokia pati. Žinoma, esant prie LTE tinklo padengimo ribos, kur yra prastos ryšio sąlygos, balso pranešimų kokybė gali suprastėti. Šis kokybės suprastėjimas tiesiogiai priklausytų nuo ryšio sąlygų padengimo zonos kraštuose. Tačiau kaip įsitikinome, esant geram LTE tinklo padengimui „Omnitel“ operatoriaus LTE tinklas visose trijose Vilniaus miesto vietose suteikia panašias ryšio sąlygas, kurios yra pakankamos kokybiškiems balso pranešimų perdavimams, kai vartotojai nejuda. Siekiant įvertinti LTE tinklo galimybes teikti balso pranešimų perdavimo paslaugas, taikant LTE tinklą kaip pernašos paslaugą vartotojams judant, buvo atliekami balso pranešimų perdavimo kokybės vertinimai, kai balso pranešimai yra perduodami judant automobiliu. Tokiu būdu, naudojant LTE tinklą būtų teikiamos ne tik bevielės VoIP paslaugos, bet ir mobiliosios.

Atliekant šį tyrimą, Vilniaus miesto gatvėmis buvo važinėjama automobiliu, kurio greitis siekė iki 60 km/h, nuvažiuota distancija siekė kelias dešimtis kilometrų tam, kad būtų vykdomi persijungimai nuo vienos bazinės stoties prie kitos. Taikant skirtingus kodekus buvo atliekama po 15 bandymų, iš kurių išvedamas vidutinis kokybės įvertis. Reikia paminėti, kad šio tyrimo metu buvo pastebėti didesni kokybės įverčių svyravimai, nepriklausomai nuo to koks kodekas buvo naudojamas. Tyrimo metu gauti rezultatai lyginant su balso pranešimų perdavimo kokybės įverčiais iš vieno taško pateikti 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė Kokybės įverčiai

Naudojamas kodekas	Vidutinis MOS skalės įvertis nejudant	Vidutinis MOS skalės įvertis judant
PCMA	4,103	3,928
Speex	3,927	3,808
G 7.22	3,878	3,761
AMR-NB	3,456	3,226
AMR-WB	3,770	3,653

Kaip galime pastebėti iš gautų rezultatų, yra jaučiamas balso pranešimų perdavimo kokybės suprastėjimas taikant visus kodekus. Iš to galime spręsti, kad judėjimo greitis, kintantis atstumas tarp bazinės ir mobiliosios stoties, signalo lygio kitimas, persijungimai tarp bazinių stočių, bei kiti aspektai turi įtakos VoIP paslaugų teikimui LTE tinklu, nepriklausomai nuo to koks kodekas yra naudojamas. Tačiau nors ir yra pastebimas kokybės suprastėjimas, jis nėra labai didelis, todėl galima teigti, kad yra galimybės teikti ne tik bevielės VoIP paslaugas LTE tinklu, bet ir mobiliąsias. Taigi, šios paslaugos gali būti pritaikytos mobiliems įrenginiams.

Naudojant atskiras programas, galima naudotis LTE tinklu kaip pernašos paslauga, už pokalbius papildomo apmokestinimo negaunant. Tokiu būdu būtų naudojamosi paslaugomis

mokant tik už perduotų duomenų kiekį. Tačiau yra mokama už visus pokalbius, ne tik už tuos, kuriuos generuojame, bet ir už atsilieptus, nes kiekvieno pokalbio metu yra perduodami duomenys. Žinoma, tenka pripažinti, kad tokių paslaugų spektras būtų ribotas ir tokiomis paslaugomis galėtų naudotis tik tam tikros grupės žmonių, pavyzdžiui tam tikrų institucijų ar įmonių darbuotojai, įmonės vidiniame tinkle, arba tam tikra žmonių grupė, besinaudojanti tokia pačia programine įranga. Taip pat siekiant įgyvendinti sujungimą tarp vartotojų reikia naudoti serverius prie kurių galėtų prisijungti vartotojai. Siekiant sutaupyti lėšų, galima naudoti atviro kodo SIP serverius, o vartotojų įrenginiuose *PJSIP* programos rinkinius, arba panašias programas, veikiančias SIP protokolo pagrindu. Tačiau bet koku atveju reikia tiek aparatūrinės tiek programinės dalių, kad galima būtų įgyvendinti VoIP paslaugų teikimą, naudojant LTE tinklo prieigą, o tai sudaro papildomas išlaidas naudojant šias paslaugas. Kalbant apie mobiliųjų VoIP paslaugų teikimą, mobiliuosiuose įrenginiuose turėtų būti įdiegta programinė įranga, suteikianti galimybę sudaryti sujungimus tarpusavyje, arba siekiant įgyvendinti komercinį VoIP paslaugų teikimą, programinė ir aparatūrinė įranga turi garantuoti sujungimus su visais telefonijos paslaugas naudojančiais vartotojais.

Tačiau įvairiapusiškai žiūrint į visą tai, galima teigti, kad atsiveria nauja rinkos niša telekomunikacijų rinkoje. Siekiant įgyvendinti balso pranešimų perdavimą LTE tinkle kaip pernašos paslaugą, reikia naudoti papildomą programinę ir aparatūrinę įrangą. Tokios įrangos kūrimas, programų diegimas mobiliuosiuose įrenginiuose gali būti nemenkas pajamų šaltinis. Vartotojai siekdami sutaupyti, naudojant telefonijos paslaugas, bus linkę įsigyti ir naudoti šią įrangą. Jau dabar naudojant *Skype*, bei panašias programas yra galima perduoti balso pranešimus į ir iš mobiliųjų įrenginių, naudojant prieigą prie interneto. Žinoma, kol kas mobilieji įrenginiai naudojantys LTE standartą yra gan brangūs, tačiau šis standartas suteikia didesnes galimybes ir paslaugų įvairovę, nei iki šiol naudoti mobiliojo ryšio standartai.

Taigi, iš atliktų tyrimų matome, kad naudojant LTE prieigą galima teikti kokybiškas balso pranešimų perdavimo paslaugas. Tačiau siekiant įvertinti šių paslaugų teikimo naudą, reikia atlikti kaštų, reikalingų VoIP paslaugų LTE tinkle įgyvendinimui, ir gautos naudos, teikiant šias paslaugas, analizę. Be to reikia įvertinti tai, kad VoIP paslaugų kainos LTE tinkle susidarys ne tik iš teikiamų VoIP tinklo paslaugų, bet ir LTE tinklo operatorių teikiamų duomenų perdavimo paslaugų kainos.

4. VoIP PASLAUGŲ LTE TINKLE DIEGIMO TECHNO-EKONOMINIS TYRIMAS

Siekiant teikti VoIP paslaugas LTE tinkle gali būti kuriama ir įgyvendinama daugybė projektų. Projektai gali skirtis savo veiklos sritimis, vartotojų grupėmis, kurioms bus suteikiamos šios paslaugos, projekto vykdytojais, bei daugeliu kitų aspektų. Gali būti kuriami ne tik nauji projektai, bet ir verslo modeliai.

Kuriant verslo modelį yra labai svarbu pasirinkti techniškai ir ekonomiškai optimalius sprendimus, įvertinti poreikių ir galimybių visumą. Kalbant apie telekomunikacijas, yra svarbu sugebėti praktiškai pritaikyti telekomunikacijų tinklų ir paslaugų analizės ir planavimo metodus. Išmanyti ir pritaikyti kompleksinį požiūrį apie telekomunikacinių sistemų ir paslaugų planavimą, apjungiant technologines ir ekonomines žinias į vieną visumą.

Todėl, tenka atlikti ne tik techninę, bet ir ekonominę telekomunikacijų tinklo ir paslaugų analizę, siekiant išsiaiškinti kokią naudą atneš techniškai įgyvendintas projektas. Šiuo atveju yra nagrinėjamas mobiliojo ryšio LTE tinklas, kurio techninės charakteristikos ir specifikacijos jau buvo aptartos anksčiau. Kalbant apie paslaugas, yra nagrinėjamos balso pranešimų perdavimo paslaugos. Norint išsiaiškinti paslaugų poreikį ir perspektyvas reikia atlikti poreikio ir perspektyvų analizę. Žinoma mobiliojo ryšio operatoriai neatlikdami papildomų veiksmų gali stebėti koks yra mobiliojo ryšio paslaugų poreikis, kontroliuojant ir stebint ankstesnių kartų mobiliojo ryšio tinklus. Taip pat, yra įvertinamos ir šių paslaugų perspektyvos taikant naujesnes technologijas. Taip yra nusprendžiama ar reikia įgyvendinti naujas balso perdavimo sistemas, ar galbūt nėra naudinga tai daryti, nes paslaugų skvarba nebus pakankama ir projektas bus nuostolingas.

Panagrinėsime mobiliųjų VoIP paslaugų naudojimo galimybes privatiems vartotojams, naudojant LTE tinklą, kaip pernašos paslaugą. Kadangi LTE tinklo teikiamų duomenų perdavimo paslaugų kainą sudaro perduotas duomenų kiekis, kuris priklauso nuo naudojamos programinės įrangos balso perdavimui ir naudojamų kodekų. Iš atliktų tyrimų naudojant *PJSUA* programą taikant skirtingus kodekus galima įvertinti VoIP pokalbių kainą, pagal reikiamą duomenų kiekį pranešimams perduoti. Taip pat, reikia paminėti, kad *PJSUA* programa yra pritaikyta mobiliesiems įrenginiams veikiantiems skirtingų operacinių sistemų pagrindu, todėl taikant šią programą galima naudotis mobiliosiomis VoIP paslaugomis. Žinoma, reikia atlikti konfigūravimus ir sukurti vartotojams patogią grafinę aplinką pritaikytą *PJSUA* programai, arba galima naudoti ir kitas, jau sukurtas programas, tačiau taikant kitas programas, pokalbių kainą gali kisti priklausomai nuo generuojamų duomenų srautų. Žinoma, generuojami duomenų srautai smarkiai kisti neturėtų. Taip pat, reikia nepamiršti, kad vartotojams kainuoja visi pokalbiai, ne

tik tie kuriuos inicijuoja konkretus vartotojas, bet ir atsilieptieji.. Be to, naudojant programinę įrangą mobiliuosiuose įrenginiuose, šie įrenginiai turi būti prijungti prie tinklo, nes kitu atveju vartotojai bus nepasiekiami. Taigi, VoIP paslaugų kaina gali padidėti dėl perduodamos tarnybinės informacijos. Žinoma, tarnybinės informacijos srautas nėra didelis, priklausomai nuo naudojamos programinės įrangos, konfigūracijos, bei kitų aspektų, tačiau, siekiant naudotis VoIP paslaugomis, tenka nustatytais intervalais perdavinėti tarnybinę informaciją. Taikant daugelį VoIP paslaugoms teikti naudojamų programų, tarnybinės informacijos srautai yra labai maži, užima vos keletą bitų, o šių pranešimų perdavimo intervalai dažnai yra 60 s, tačiau galima nustatyti ir kitus perdavimo intervalų dydžius. Tuo tarpu, naudojant tokias programas, kaip *Skype*, tarnybinės informacijos srautas yra 5 - 20 kb/s, per vienos valandos tarnybinės informacijos perdavimo laikotarpį yra perduodama keli megabaitai duomenų, kai naudojant VoIP sistemas yra perduodama vos keli kilobitai. Taigi, jeigu naudojant *Skype* programą vartotojas yra aktyvus 12 valandų per dieną ir visą šį laikotarpį yra perduodama tarnybinė informacija, per mėnesį vidutiniškai būtų perduodama daugiau nei 2 GB duomenų tarnybinės informacijos. Atsižvelgiant į tai, kad 1 GB duomenų kiekis, naudojant mobiliuosius įrenginius, kainuoja 19 Lt, naudojant „Omnitel“ operatoriaus LTE tinklą, per mėnesį tik tarnybinės informacijos perdavimui reikia 38 Lt. Vykdanč balso perdavimą ši suma dar labiau išaugtų. Lyginant su VoIP sistemose naudojamomis programomis ir reikalingais tarnybinės informacijos srautais, tampa aišku, kad VoIP paslaugų kaina yra mažesnė, nei paslaugų kaina naudojant tokias programas kaip *Skype*, dėl perduodamų mažų tarnybinės informacijos kiekių.

Tačiau, taikant *PJSUA* programą ar kitas programas, naudojamas VoIP paslaugų teikimui, yra būtinas VoIP tinklo sukūrimas, šiam tinklui sukurti ir prižiūrėti reikia papildomų investicijų. Šių investicijų kiekis priklausys nuo tinklo sudėtingumo ir aptarnaujamo vartotojų skaičiaus. Sujungimų tarp vartotojų įgyvendinimui yra būtini serveriai, kurie vykdytų sujungimus pagal gaunamas užklausas. Serverių aptarnaujamas vartotojų skaičius priklauso nuo naudojamo įrenginio aparatūrinių charakteristikų, programinės dalies konfigūracijos, naudojamų kodekų, bei kitų aspektų. Kadangi yra naudojama *PJSUA* programa, veikianti SIP protokolo pagrindu, galima naudoti atviro kodo SIP serverio programinę įrangą. Taigi, VoIP tinklo sukūrimui reikalingos investicijos susideda iš aparatūrinės serverių dalies kainos, programinės įrangos diegimo ir priežiūros, bei sistemos eksploatavimo išlaidų. Tačiau sukūrus tokį tinklą, VoIP paslaugų tiekimas vyks tik tarp šio tinklo aptarnaujamų vartotojų, norint teikti VoIP paslaugas tarp įvairių tinklų, stipriai išauga paslaugų kaina ir reikiamų investicijų dydis.

Panagrinėsime galimą projekto modelį – viešojo VoIP tinklo kūrimą. Išsiaiškinsime kiek investicijų reikia investuoti, norint sukurti VoIP tinklą, kuriuo galėtų naudotis vartotojai, naudojant prieigą prie interneto. Įvertinsime VoIP paslaugų kainą vartotojams šiame tinkle, bei

paslaugų kainas naudojant „Omnitel“ mobiliojo ryšio operatoriaus LTE tinklo prieigą prie interneto mobiliųjų VoIP paslaugų naudojimui.

Planuojamas VoIP tinklas naudoja serverius, iš kurių kiekvienas veikia SIP protokolo pagrindu, gali aptarnauti 1000 vartotojų ir gali užtikrinti 300 pokalbių vienu metu. Vartotojų įrangoje yra naudojama *PJSUA* programa, kuriai reikia sukurti vartotojams patogią grafinę aplinką ir suteikti galimybę, greitai, bei patogiai atlikti šios programos diegimą vartotojų įrangoje, su atitinkama konfigūracija. Yra sukuriamas ir tvarkomas tinklapis, kad vartotojai galėtų greitai ir patogiai gauti informaciją apie paslaugas ir įsigyti reikiamą programinę įrangą. Taip pat reikia sukurti ir įgyvendinti mokėjimo už paslaugas sistemą, yra numatomas mėnesinis paslaugų mokestis, mokant pinigų pervedimu per tinklapį.

Atsižvelgiant į visą tai, bus atliekamas tinklo kūrimo ekonominio atsipirkimo NPV metodu ir VoIP paslaugų kainos vartotojams įvertinimas, įvertinant kuriamo tinklo teikiamų paslaugų kainą ir LTE tinklo mobiliojo ryšio operatorių teikiamų paslaugų kainas.

Pradinės investicijos VoIP tinklo kūrimui:

4.1 lentelė Pradinės investicijos

Įranga	Kiekis, Vnt.	Vnt. kaina, Lt	Bendra kaina, Lt
Serveris Xorcom XR3000/NU	5	4000	20000
Aplikacijos kūrimas	1	40000	40000
Tinklapių kūrimas	1	5000	5000
Iš viso:			65000

Šio tinklo abonentai gali naudotis paslaugomis ne tik Lietuvoje bet ir užsienyje, naudojant skirtingas prieigų prie interneto rūšis. Taip yra planuojama per trumpą laikotarpį padidinti abonentų skaičių. Planuojamas aptarnauti abonentų skaičius yra 5000, manoma pasiekti šį abonentų skaičių metų laikotarpyje, esant tendencijai, kad kas tris mėnesius abonentų skaičius didėja tūkstančiu.

Kalbant apie mobiliųjų VoIP paslaugų naudojimą, tenka atsižvelgti į mobiliojo ryšio operatorių teikiamų LTE ryšio paslaugų kainas. Kaip buvo minėta anksčiau, 1 GB duomenų kiekis, naudojant mobiliuosius įrenginius, kainuoja 19 Lt, naudojant „Omnitel“ operatoriaus LTE tinklą. Jeigu balsui perduoti, naudosis AMR-WB kodeką, kurį taikant atliktų tyrimų metu buvo reikalinga minimali 40 kb/s duomenų perdavimo sparta, įvertinant tarnybinės informacijos perdavimą, laikysime, kad yra generuojamas 50 kb/s duomenų srautas. Taigi, viena telefoninio pokalbio minutė generuoja 3 Mb/min duomenų srautą arba 375 kB/min. Taigi, išreikšime duomenų kiekį pokalbio minutėmis naudojant AMR-WB kodeką. Tokiu atveju 1 GB duomenų sudarytų 2666,66 telefoninio pokalbio minutes, o vienos pokalbio minutės kaina yra 0,007 Lt. Žinoma, tenka įvertinti tai, kad yra mokamas mėnesinis 19 Lt mokestis už 1 GB duomenų kiekį,

arba už 2666,66 pokalbio minutes, taigi laikysime, kad tokios pokalbių trukmės pakanka vienam mobiliosiomis VoIP paslaugomis besinaudojančiam vartotojui per mėnesį ir LTE ryšio paslaugų kaina yra 19 Lt/mėn.

Įvertinant tai, kad Lietuvoje balso perdavimo paslaugų kainos yra gan mažos, privatiems vartotojams suteikiami nemokami pokalbiai į didžiausius Lietuvoje veikiančius telefonijos tinklus už 23 Lt mėnesinį mokestį, naudojant „Omnitel“ mobiliojo ryšio operatoriaus tinklą, tampa akivaizdu, kad naudotis VoIP paslaugomis vietiniu mastu yra nenaudinga. Tuo tarpu, vykdant tarptautinius pokalbius į daugelį Europos valstybių privatiems vartotojams viena pokalbio minutė kainuoja 1,6 Lt, taigi, už 19 Lt yra suteikiama mažiau nei 12 min tarptautinių pokalbių. Žinoma, dar nėra įvertinta VoIP tinklo naudojimosi kaina, tačiau akivaizdu, kad esant nedidelei VoIP tinklo naudojimosi kainai, naudoti VoIP paslaugas tarptautiniu mastu yra daug pigiau, nei naudoti kitas telefonijos paslaugas.

Nagrinėjamo modelio atveju, VoIP tinklo naudojimosi kaina yra simbolinė, taikomas 1 Lt mėnesinis mokestis. Toks sprendimas priimtas todėl, kad rinkoje yra daug nemokamų balso perdavimo paslaugų teikimui skirtų aplikacijų ir sistemų. Nagrinėjamo modelio atveju, maksimalus 5000 vartotojų skaičius yra pasiekiamas per vienerius metus, esant tendencijai, kad kas tris mėnesius abonentų skaičius didėja tūkstančiu, kol pasiekia maksimalų. Įvertinsime bendrąsias pajamas, patiriamas einamąsias išlaidas, gaunamą pelną, penkerių metų laikotarpyje, esant 5% turto nusidėvėjimui, 15% pelno mokesčiui ir 5% diskontavimo koeficiento reikšmei.

Nustatome einamąsias išlaidas (angl. *OPEX*). Einamųjų išlaidų kaštai nustatomi, kaip vidutinės statistiškai pagrįstos dalys nuo bendrųjų pajamų, esant vienodomis dalimis penkerių metų laikotarpiui.

4.3 lentelė Einamosios išlaidos

Einamųjų išlaidų paskirtis	Statistiškai pagrįstos dalys nuo bendrųjų pajamų, %
Marketingas, pardavimai, klientų aptarnavimas	10
Inžinerinės tinklo priežiūros, aptarnavimo, remonto kaštai	5
Kitos išlaidos ir administravimas	5
Neišieškamos skolos ir praradimai	3
Iš viso:	23

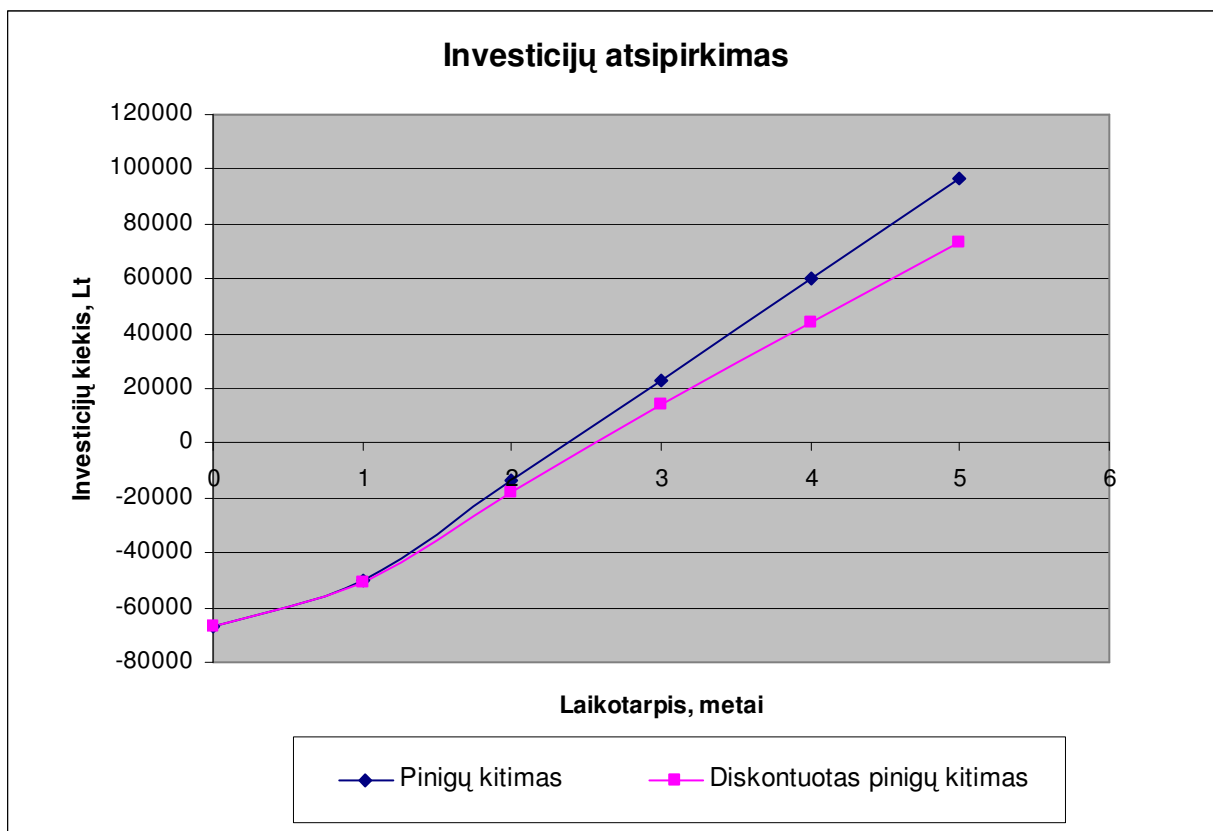
Iš viso einamąsias išlaidas sudaro 23% nuo gaunamų pajamų kiekvienais metais. Gaunamos pajamos pradedant nuo antrųjų metų yra tokios pačios, nes vartotojų skaičius kinta tik pirmaisiais metais, kol pasiekia maksimalų. Todėl pirmaisiais metais einamosios išlaidos bus mažesnės nei likusiais metais. Visu nagrinėjamu laikotarpiu einamąsias išlaidas sudaro vienodos statistiškai pagrįstos dalys nuo gaunamų pajamų.

Toliau atliksime investicijų atsipirkimo skaičiavimus penkerių metų laikotarpyje, įvertinant 5 % pinigų diskontavimo koeficientą. Atliktų skaičiavimų metu gauti rezultatai kiekvienais metais pateikti 4.4 lentelėje.

4.4 lentelė Investicijų atsipirkimo skaičiavimai

Metai	Pajamos, Lt	Pelnas prieš mokesčius ir nusidėvėjimą, Lt	Grynasis pelnas, Lt	Diskontuotas grynasis pelnas, Lt	Investicijų ir pelno balansas, Lt	Diskontuotas investicijų ir pelno balansas, Lt
0	0	0	0	0	-67000	-67000
1	30000	23100	16788	15988	-50213	-51012
2	60000	46200	36565	33165	-13648	-17847
3	60000	46200	36700	31703	23053	13856
4	60000	46200	36829	30299	59881	44155
5	60000	46200	36951	28952	96832	73107

Gauti investicijų ir pelno, bei diskontuoto investicijų ir pelno balanso skaičiavimų rezultatai išreikšti grafiškai 4.1 pav. Galima pastebėti, kad nors gaunamos pajamos nėra didelės, tačiau jau trečiaisiais metais investicijos atsiperka vykdant šį projekto modelį. Taip pat, galima pastebėti, kad įvertinant diskontavimo koeficientą, atsipirkimo laikotarpis padidėja nežymiai.



4.1 pav. Investicijų atsipirkimo grafikas

Investicijų atsipirkimo laikotarpis nėra didelis, įvertinant tai, kad mokestis už paslaugas yra tik simbolinis. Žinoma, esant 1 Lt mėnesiniam mokesčiui, gaunamas pelnas nėra didelis, tačiau po dviejų su puse metų nuo projekto pradžios investicijos atsiperka, o penktaisiais metais gautas pelnas viršija pirmaisiais metais investuotas lėšas. Taigi, šis projektas yra pelningas.

Kalbant apie naudą vartotojams, mobiliųjų VoIP paslaugų naudojimas lyginant su dabartinėmis mobiliojo ryšio ar fiksuotos telefonijos paslaugų kainomis Lietuvoje, net įvertinant tai, kad VoIP paslaugos yra beveik nemokamos, kainuotų tik perduodamų balso pranešimų užimamas duomenų kiekis ir perduodamos tarnybinės informacijos kiekis, Lietuvos mastu nėra naudingas. Taigi, viešas VoIP tinklas turi veikti tarptautiniu mastu. Tarptautinių balso perdavimo paslaugų kainos yra gan didelės, kaip alternatyva, siekiant sumažinti tarptautinių balso perdavimo paslaugų kainas, gali būti naudojamos VoIP paslaugos, o taikant LTE tinklo prieigą, skirtą mobiliesiems įrenginiams, – mobiliosios VoIP paslaugos. Taip pat, VoIP paslaugų naudojimas gali būti pravartus verslo klientams. Gali būti naudinga sukurti vidinę VoIP paslaugų teikimo sistemą įmonės viduje ir naudotis VoIP paslaugomis nemokamai tarp įmonės darbuotojų Lietuvoje ir visame pasaulyje, mokant tik už perduotą duomenų kiekį.

Taigi, panagrinėsime galimą projekto modelį, kuris yra įmonės ar įstaigos vidinio VoIP tinklo sudarymas, taikant LTE prieigą. Tokiu būdu būtų naudojamas mobiliojo ryšio operatoriaus LTE tinklas, kaip pernašos paslauga ir prieiga prie interneto, o VoIP paslaugų tiekimui būtų naudojama papildoma programinė ir aparatūrinė įranga leidžianti įmonės tinklu besinaudojantiems asmenims, turėti galimybę naudotis VoIP telefonijos paslaugomis tarpusavyje nemokamai. Toks modelis gali būti taikomas siekiant komunikuoti su įmonės padaliniais nutolusiose vietovėse, kur fiksuotų telekomunikacijų infrastruktūra neišplėta. Tokio įmonės padalinio darbuotojai, padalinio viduje telefoninius pokalbius vykdytų naudojant fiksuotas komunikacijas, tačiau siekiant susisiekti su kitais įmonės padaliniais prieigai prie interneto būtų naudojamas LTE tinklas. Tačiau kaip jau buvo minėta anksčiau, svarbu, kad tokiam padalinyje dirbančių darbuotojų generuojamas balso pranešimų srautas neviršytų LTE tinklo suteikiamos duomenų perdavimo spartos vienam vartotojui. Kadangi LTE tinklo suteikiama duomenų perdavimo sparta dalinama visiems vienos bazinės stoties aptarnaujamoje zonoje esantiems vartotojams, sumažėjus vienam vartotojui tenkančiai duomenų perdavimo spartai gali sutrikti VoIP paslaugų teikimas vidiniame įmonės tinkle. Tačiau iš kitos pusės, jei nėra kitų alternatyvų, LTE tinklo panaudojimas tokiam sprendimui yra galimas. Tokiu atveju, įmonei kaštai, siekiant įgyvendinti vidinį VoIP tinklą, susidarytų iš LTE tinklo operatoriams priklausančių duomenų perdavimo paslaugų ir įmonėje naudojamos programinės ir aparatūrinės įrangos įsigijimo, priežiūros ir išlaikymo.

Pamėginsime šį projekto modelį panagrinėti plačiau ir atlikti tokio projekto ekonominį įvertinimą. Tarkime, kad įmonė atidaro naują padalinį, kuriame bus sukurtas vidinis VoIP tinklas 20 vartotojų ir prisijungimui prie vidinio VoIP tinklo su kitais padaliniais bus naudojama LTE prieiga. Kadangi įmonėje yra sukurtas vidinis VoIP tinklas, pradinės investicijas sudarys tik naujo padalinio VoIP tinklo įrengimas, o einamosios išlaidos susidės tik iš šio tinklo išlaikymo ir priežiūros, bei LTE tinklo teikiamų paslaugų kainos. Pamėginsime išsiaiškinti ar yra naudinga sukurti vidinį VoIP tinklą naujame padalinyje, ar naudingiau naudoti kitas balso perdavimo paslaugas bendraujant su darbuotojais kituose padaliniuose.

Pradinės investicijos dvidešimties abonentų vidinio VoIP tinklo kūrimui:

4.5 lentelė Pradinės investicijos

Įranga	Kiekis, Vnt.	Vnt. kaina, Lt	Bendra kaina, Lt
Telefonas Cisco SPA504G	20	230	4600
Serveris Xorcom XR3000/NU	1	4000	4000
LTE maršrutizatorius Huawei E5172	1	500	500
LTE antena Trans-Data KYZ 7	1	230	230
VoIP tinklo instaliacija	1	500	500
Iš viso:			9830

Vykdam VoIP paslaugų teikimą balso apdorojimui bus naudojamas AMR-WB kodekas, laikysime, kad vieno vartotojo generuojamas telefoninio pokalbio srautas yra 50 kb/s. Iš anksčiau atliktų skaičiavimų yra žinoma, kad viena pokalbio minutė generuoja 3 Mb/min duomenų srautą arba 375 kB/min. Tokiu atveju, išreiškus duomenų kiekį telefoninio pokalbio minutėmis, 1 GB duomenų sudarytų 2666,66 telefoninio pokalbio minutes. Atsižvelgiant į tai, kad „Omnitel“ mobiliojo ryšio operatorius leidžia pasirinkti skirtingus mokėjimo planus už atitinkamus duomenų kiekius, pasirinksim 30 GB duomenų kiekio planą už 69 Lt/mėn. Taip 20 padalinyje dirbančių darbuotojų galės kalbėti 80000 minučių su darbuotojais kituose padaliniuose, arba kitaip tariant kiekvienas iš 20 darbuotojų galės kalbėti 4000 minučių per mėnesį vidiniame įmonės VoIP tinkle.

Taigi, tokio VoIP paslaugų teikimo modelio atveju einamosios išlaidas sudarytų sukurto vidinio VoIP tinklo išlaikymas ir priežiūra, bei LTE ryšio paslaugų kaina.

4.6 lentelė Einamosios išlaidos

Išlaidų paskirtis	Išlaidos per mėnesį, Lt	Išlaidos per metus, Lt
Vidinio VoIP tinklo priežiūra ir išlaikymas	100	1200
LTE ryšio paslaugų kaina	69	828
Iš viso:		2028

Kalbant apie nagrinėjamo modelio naudingumą, tenka nagrinėti visų galimų telefonijos paslaugų naudojimo galimybes. Kadangi naudotis fiksuotos telefonijos paslaugomis nėra galimybės, galima naudotis mobiliojo ryšio operatorių teikiamomis telefonijos paslaugomis. Kadangi, yra kalbama apie pokalbius tarp įmonės darbuotojų, Mobiliojo ryšio operatoriai siūlo tokias paslaugas įmonėms, kai visi įmonės darbuotojai naudojami to paties mobiliojo ryšio operatoriaus paslaugomis ir tarpusavyje gali kalbėti nemokamai. Mūsų atveju panagrinėsime mobiliojo ryšio operatorių teikiamą mokėjimo planą, kai yra taikomas fiksuotas 14 Lt/mėn mokestis kiekvienam įmonės darbuotojui, pasirašius neterminuotą sutartį. Tokiu atveju, įmonės išlaidos telefonijos paslaugoms nagrinėjamame padalinyje, kuriame paslaugomis naudojasi 20 darbuotojų, susidarytų iš telefonijos paslaugų kainos ir mobiliųjų telefonų kainos:

4.7 lentelė Pradinės investicijos

Įranga	Kiekis, Vnt.	Vnt. kaina, Lt	Bendra kaina, Lt
Telefonas Nokia 515	20	355	7100
Iš viso:			7100

Galima pastebėti, kad pradinės investicijos yra mažesnės, nei pradinės investicijos reikalingos vidinio VoIP tinklo kūrimui. Tačiau einamosios išlaidos, reikalingos naudojantis mobiliojo ryšio paslaugomis, pateiktos 4.8 lentelėje yra truputį didesnės, nei einamosios išlaidos naudojantis VoIP paslaugomis.

4.8 lentelė Einamosios išlaidos

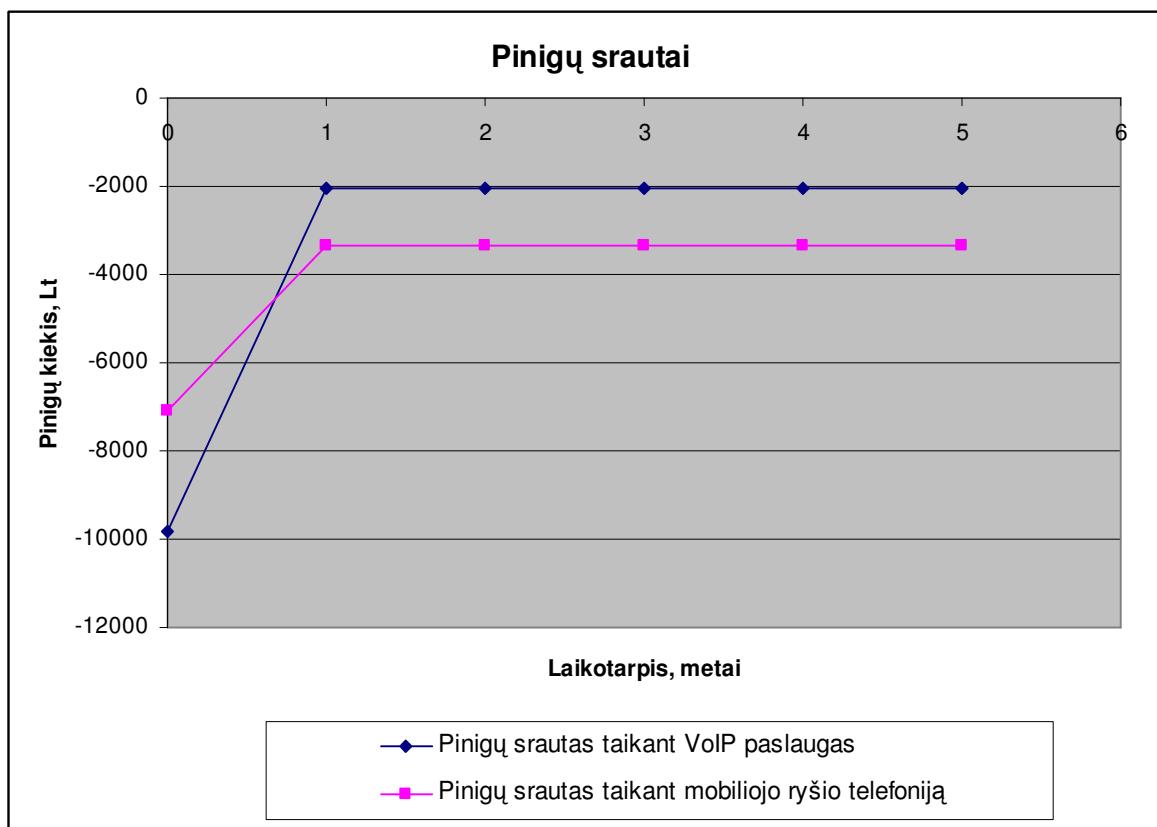
Išlaidų paskirtis	Išlaidos per mėnesį, Lt	Išlaidos per metus, Lt
Telefonijos paslaugos	280	3360
Iš viso:		3360

Pabandykime panagrinėti, ar yra pravartu kurti vidinį VoIP tinklą ir ar šiam tinklui sukurti reikalingos investicijos atsipirks per trumpą laiko tarpą. Atsižvelgiant į atsipirkimo laikotarpį išsiaiškinsime ar mūsų nagrinėjamą modelį verta įgyvendinti. Esant ilgam atsipirkimo laikotarpiui investuoti didelį kiekį lėšų nėra naudinga, todėl atliksime atsipirkimo vertinimą 5 metų laikotarpyje, bei įvertinsime pinigų srautus skiriamus balso perdavimo paslaugoms.

Taigi, vertinant nagrinėjamo modelio naudingumą, galima pastebėti, kad metinės išlaidos telefonijos paslaugoms, naudojant LTE prieigą VoIP paslaugų teikimui yra mažesnės, kasmet būtų sutaupoma daugiau nei 1300 Lt, tačiau tenka sukurti vidinį VoIP tinklą, kuriam reikia nemažų investicijų. Šios investicijos yra didesnės nei reikalingų mobiliųjų telefonų kaina. Be to, pasirašant terminuotas 24 mėnesių sutartis mobiliojo ryšio operatorius „Omnitel“ suteikia 240 Lt nuolaidą mobiliojo ryšio telefono įsigijimui, naudojant šiame modelyje nagrinėjamą mokėjimo planą. Tokiu būdu, mobilieji telefonai kainuos tik 115 Lt ir reikalingos pradinės investicijos bus

tik 2300 Lt. Pradinės investicijos, reikalingos VoIP tinklo kūrimui, būtų daugiau nei 7500 Lt didesnės, lyginant su mobiliojo ryšio telefonijos paslaugoms reikalingomis pradinėmis investicijomis ir tokiu atveju, investicijų atsipirkimo terminas išaugtų. Tačiau nagrinėjamas projekto modelis, kai nėra pasirašomos terminuotos sutartys.

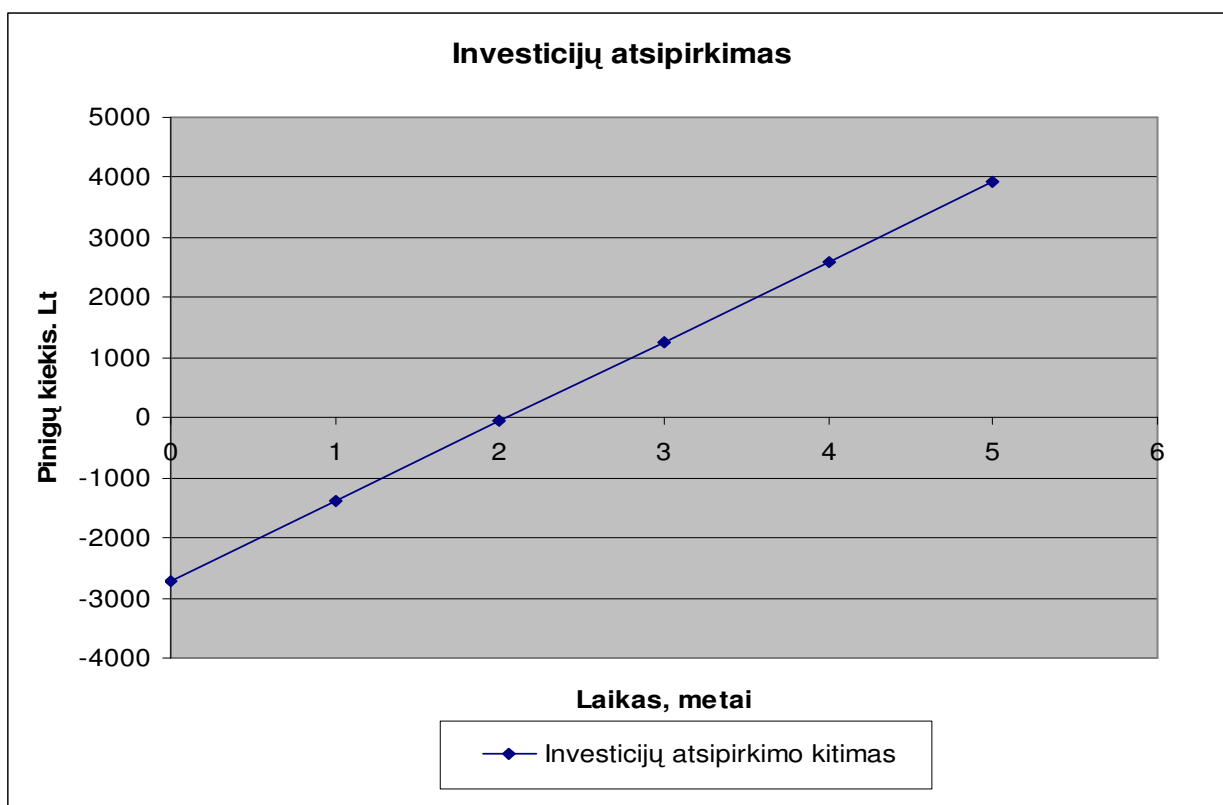
4.2 pav. pateiktas grafikas, nurodantis pinigų srautų pasiskirstymą taikant VoIP paslaugas ir mobiliojo ryšio telefonijos paslaugas.



4.2 pav. Pinigų srautų pasiskirstymo grafikas

Taikant VoIP paslaugas, naudojant LTE tinklo prieigą reikalingos pradinės investicijos yra 2730 Lt didesnės, nei naudojantis mobiliojo ryšio telefonijos paslaugomis, tačiau einamosios išlaidos naudojantis VoIP paslaugomis yra mažesnės, nei naudojantis mobiliojo ryšio telefonijos paslaugomis. Taigi, pamėginsime išsiaiškinti investicijų atsipirkimo laikotarpį naudojant VoIP paslaugas. Žinoma, grafike pateikti pinigų srautai penkių metų laikotarpiui, esant dabartinei telefonijos paslaugų kainai, laikui bėgant telefonijos paslaugų kaina gali kisti, VoIP tinklo atsipirkimo laikotarpis gali prasižesti arba sutrumpėti, tačiau nagrinėjamo modelio atveju laikysime, kad kainų kitimas yra nežymus arba jo išvis nėra.

Siekiant išsiaiškinti investicijų atsipirkimo laikotarpio trukmę, nagrinėjamas reikalingų investicijų ir einamųjų išlaidų skirtumas. Įvertinant šiuos skirtumus, išsiaiškinama per kiek laiko VoIP paslaugų naudojimas taps pelningesnis nei mobiliojo ryšio telefonijos paslaugų naudojimas. Investicijų atsipirkimas pateiktas grafiškai 4.3 pav.



4.3 pav. Investicijų atsipirkimo grafikas

Kaip galima pastebėti iš grafiko (žr. 4.3 pav.) padalinyje sukurto VoIP tinklo ir teikiamų VoIP paslaugų išlaidos atsiperka per du metus, lyginant su mobiliojo ryšio operatoriaus „Omnitel“ teikiamų telefonijos paslaugų kainomis. Išlaidų atsipirkimas yra tiesiškas, kadangi kiekvienais metais yra sutaupomas tas pats pinigų kiekis, naudojant LTE prieigą VoIP paslaugų teikimui. Žinoma, per atsipirkimo laikotarpį gali sumažėti mobiliojo ryšio operatorių teikiamų paslaugų kainos, todėl investicijų atsipirkimo laikotarpis padidėtų. Tačiau nepaisant to, esant dabartinei rinkos situacijai ir atsižvelgiant į tai, kad teikiant mobiliojo ryšio telefonijos paslaugas, šių paslaugų kainos yra pakankamai mažos, galima teigti, kad sumažėsiančios mobiliojo ryšio paslaugų kainos didelės įtakos nagrinėtam modeliui neturi, nes investicijų atsipirkimo laikotarpis nėra labai didelis, be to yra mažai tikėtinas didelis telefonijos paslaugų kainų sumažėjimas.

Žinoma, jei būtų pasirašoma dviejų metų terminuota sutartis su mobiliojo ryšio operatoriumi, dėl teikiamų telefonijos paslaugų, būtų sutaupoma lėšų įrangos įsigijimui, tokiu būdu, VoIP paslaugų atsiperkamumo laikotarpis prastėtų. Esant ilgam atsipirkimo laikotarpiui, nors projektas ir yra pelningas, tačiau pelningumo faktorius yra mažas ir gal net ties rizikos riba, kadangi ekonominė situacija rinkoje gali smarkiai pakisti per ilgesnį laiko tarpą, todėl dažniausiai neverta investuoti į tokius projektus. Nors naudoti VoIP paslaugas, taikant LTE tinklo prieigą, yra naudinga lyginant su mobiliojo ryšio telefonijos paslaugų naudojimu, tačiau

naudingumo faktorius yra mažas. Todėl tikėtina, kad yra naudingiau taikyti VoIP paslaugas tarptautiniu mastu, kadangi tarptautinių telefonijos paslaugų kaina yra didesnė.

Panagrinėsime projekto modelį, kai anksčiau minėtas 20 darbo vietų padalinys Lietuvoje neturi galimybės naudotis fiksuotų prieigų tinklais, VoIP paslaugoms naudoja LTE tinklo prieigą ir vykdo telefoninius pokalbius ne tik Lietuvoje, bet ir tarptautiniu mastu. Tarkime, kad bus bendraujama su vakarų Europos valstybėmis, kai skambinant iš Lietuvos, naudojant mobiliojo ryšio paslaugas, viena pokalbio minutė verslo klientams kainuoja 1,3 Lt. Kiekvienas iš 20 įmonės darbuotojų vidutiniškai per mėnesį prakalbės 200 min tarptautiniu mastu. Naudojant mobiliojo ryšio paslaugas, yra mokamas 14 Lt/mėn mokestis, kuris suteikia galimybę kalbėti nemokamai tarp įmonės darbuotojų Lietuvoje, be to vykdant pokalbius tarptautiniu mastu, prakalbant po 200 min, tai papildomai kainuoja 260 Lt. Taigi, vieno darbuotojo mėnesinės išlaidos telefonijos paslaugoms yra 274 Lt. Dvidešimties darbuotojų mėnesinės telefonijos paslaugų išlaidos yra 5480 Lt, o padalinio metinės telefonijos paslaugų išlaidos yra 65760 Lt.. Tuo tarpu metinės išlaidos įskaitant VoIP tinklo kūrimą naudojant vieną LTE prieigą 20 darbuotojų nesiekia 12000 Lt. Akivaizdu, kad naudoti mobiliojo ryšio telefonijos paslaugas tarptautiniu mastu yra nuostolinga, lyginant su VoIP paslaugų naudojimu taikant LTE tinklo prieigą.

Tačiau reikia nepamiršti, kad vykdant VoIP paslaugų teikimą, taikant LTE prieigą, į vienam vartotojui tenkantį pokalbio minučių skaičių yra įtraukiami ne tik išsiunčiami, bet ir priimami skambučiai. Nesvarbu kas generuoja skambutį todėl, kad yra taikomas mokestis už perduotų duomenų kiekį, o kiekvieno pokalbio metu yra perduodami duomenys LTE tinklu, todėl anksčiau pateiktas 4000 suteikiamų minučių skaičius vienam vartotojui yra bendra vienam vartotojui suteikiama pokalbių trukmė, nepriklausomai kas inicijuoja pokalbio pradžią. Be to naudojantis operatorių teikiamomis paslaugomis yra suteikiama neribota pokalbių trukmė Lietuvoje tarp įmonės darbuotojų, tuo tarpu naudojant LTE prieigą yra suteikiama 4000 minučių per mėnesį, tačiau tokios pokalbių trukmės per mėnesį turėtų tikrai pakakti. Taip pat atsižvelgiant į tai, kad viena LTE tinklo prieiga naudojasi 20 vartotojų, kurių generuojamas duomenų srautas yra po 50 kb/s, bendras generuojamas duomenų srautas yra 1 Mb/s. Tai reiškia, kad yra reikalinga minimali 1 Mb/s duomenų perdavimo sparta naudojant vieną LTE prieigą, siekiant įgyvendinti 20 darbuotojų telefoninius pokalbius vienu metu. Esant didelei LTE tinklo apkrovai duomenų perdavimo sparta gali būti mažesnė nei reikiama, siekiant įgyvendinti šį tinklo modelį. Be to, lyginant su mobiliojo ryšio operatorių teikiamomis paslaugomis nėra galimybės naudotis telefonijos paslaugomis už ofiso ribų, taikant mobiliuosius įrenginius, nes yra naudojama tik viena LTE prieiga ofiso viduje.

Siekiant suteikti mobilumo galima panagrinėti mobiliųjų VoIP paslaugų teikimo galimybes nagrinėjamo modelio atveju, kai kiekvienas vartotojas naudoja atskira LTE prieiga savo mobiliajame telefone ir vykdo VoIP skambučius vidiniame įmonės tinkle tarptautiniu mastu. Šiuo metu „Omnitel“ operatorius suteikia 1 GB duomenų kiekį per mėnesį už 19 Lt mėnesinį mokestį, tačiau norint naudotis LTE ryšio paslaugomis mobiliuose telefonuose tenka užsisakyti verslo įmonių mokėjimo planą, kurio mėnesinis mokestis 14 Lt. Taigi, vieno darbuotojo mėnesinės telefonijos paslaugų išlaidos yra 33 Lt. Už 33 Lt mėnesinį mokestį kiekvienas vartotojas galės kalbėti 2666,66 minutes vidiniame įmonės VoIP tinkle naudojant mobiliuosius telefonus LTE tinklo veikimo zonoje, bei padalinio darbuotojai galės kalbėti tarpusavyje nemokamai naudojant mobiliojo ryšio telefonijos paslaugas. Taigi, naudoti mobiliąsias VoIP paslaugas tarp įmonės darbuotojų vietiniu mastu nėra tikslo, nes mobiliojo ryšio operatorių suteikiami mokėjimo planai leidžia naudoti tarpusavyje nemokamas telefonijos paslaugas. Tačiau mobiliosios VoIP paslaugos naudojamos tarptautiniu mastu gali būti patrauklios ir naudingos. Žinoma, yra reikalingi LTE technologijai pritaikyti mobilieji telefonai, kurie šiuo metu yra gan brangūs, be to reikalinga papildoma programinė įranga leidžianti naudoti šiuos telefonus naudoti VoIP paslaugomis. Tokios programinės įrangos kūrimas gali pareikalauti nemažų išlaidų, tačiau yra gan daug nemokamų ir atviro kodo programų skirtų įvairias operacines sistemas naudojančioms telefonams. Tokiu atveju, galime panagrinėti mobiliųjų VoIP paslaugų taikymo naudingumą tarptautiniu mastu.

Įvertinsime reikalingas pradinės investicijas įrangos įsigijimui ir einamąsias išlaidas už LTE ryšio paslaugas.

4.9 lentelė Pradinės investicijos

Įranga	Kiekis, Vnt.	Vnt. kaina, Lt	Bendra kaina, Lt
Telefonai Samsung Galaxy S4 mini	20	1090	21800
Iš viso:			21800

Kaip galima pastebėti susidaro gan didelės pradinės investicijos įrangos įsigijimui, kurios yra didesnės nei vidinio VoIP tinklo kūrimo išlaidos nutolusiame padalinyje. Taip yra todėl, kad LTE technologijai pritaikyti mobilieji telefonai yra gan brangūs.

4.10 lentelė Einamosios išlaidos

Išlaidų paskirtis	Išlaidos per mėnesį, Lt	Išlaidos per metus, Lt
Telefonijos paslaugos	660	7920
Iš viso:		7920

Einamosios išlaidos taip pat yra didesnės nei naudojant fiksuotas VoIP paslaugas taikant vieną LTE prieigą, tačiau nepaisant to, šios išlaidos yra daug mažesnės nei naudojamų mobiliojo ryšio paslaugų kaina, vykdant tarptautinius skambučius. Todėl galima teigti, kad nors suteikiant mobiliąsias VoIP paslaugas susidaro didesnės išlaidos, tačiau tokių paslaugų naudojimas yra pelningesnis nei mobiliojo ryšio telefonijos paslaugų naudojimas tarptautiniu mastu.

Taigi, panagrinėjome kelis galimus VoIP paslaugų teikimo modelius, naudojant LTE tinklą. Įsitikinome, kad teikti vietines, mobiliąsias VoIP paslaugas nėra pelninga, nes teikiamų mobiliojo ryšio telefonijos paslaugų kainos yra mažesnės. Tačiau yra puikios galimybės teikti VoIP paslaugas naudojant vieną LTE tinklo prieigą, leidžiančią daugeliui vidinio tinklo vartotojų naudotis telefonijos paslaugomis. Taip pat pastebėta, kad sukurti ir naudoti vidinį VoIP tinklą yra pravartu ir naudinga, siekiant sutaupyti naudojantis telefonijos paslaugomis. Pastebėta, kad pelningiausias VoIP paslaugų LTE tinkle panaudojimas yra atliekant tarptautinius telefoninius pokalbius. Taip pat, atliekant tarptautinius pokalbius yra galimybės naudotis mobiliosiomis VoIP paslaugomis, šių paslaugų kaina yra mažesnė lyginant su mobiliojo ryšio telefonijos paslaugomis tarptautiniu mastu. Be to galima teikti viešojo VoIP tinklo paslaugas, kai vartotojai naudojami sukurtu VoIP tinklu už nustatytą mėnesinį mokestį.

Žinoma, gali būti daug skirtingų projektų susijusių su VoIP paslaugų tiekimo LTE tinkle įgyvendinimu. Taip pat, nagrinėjant įvairius projektus yra atspindimos ir aptariamose VoIP paslaugų LTE tinkle įgyvendinimo ir teikimo galimybės. Nors LTE standartas suteikia iki tol nematytas paslaugų įgyvendinimo galimybes, bet šios paslaugos turėtų būti prieinamos vartotojams. Atsižvelgiant į tai, galima paminėti, kad nors LTE standartas ir suteikia naujas galimybes, bet kol kas nėra jokių galimybių konkuruoti su fiksuotų prieigų plačiajuosčiais tinklais, nei duomenų perdavimo spartos, nei duomenų kiekio ar kainos atžvilgiu. Tačiau nepaisant to, atsiveria naujos galimybės naudotis mobiliojo ryšio paslaugomis, bei naudoti šią technologiją jau ilgą laiką teikiamoms paslaugoms teikti.

Taip pat galima panagrinėti kokios yra VoIP paslaugų LTE tinkle teikimo, atsižvelgiant į aptartus modelius stiprybės, silpnybės, galimybės ir grėsmės, atliekant SSGG (angl. *SWOT*) analizę.

4.11 lentelė SSGG analizė

Stiprybės	Silpnybės
- Galima teikti VoIP paslaugas naudojant atviro kodo programinę įrangą; - Galimas paslaugų teikimas tarp įvairių įrenginių, naudojančių įvairias operacines sistemas;	- Paslaugų įgyvendinimui reikalingi technologiniai ištekliai, veikiantis LTE tinklas; - Nėra galimybės kontroliuoti LTE tinklo parametrų; - Reikalingas vidinio VoIP tinklo

• Naudotis paslaugomis galima iš bet kurios LTE tinklo padengimo vietos; • LTE tinkle neturi būti įgyvendinta balso perdavimo sistema; • Teikiamos pigios telefonijos paslaugos; • Balsas yra perduodamas internetu, kuris apima beveik visą pasaulį;	• sukūrimas; • Reikalinga pastovi VoIP tinklo priežiūra;
Galimybės	Grėsmės
• Balso perdavimo paslaugos naudojant skirtingus kodekus; • Mobilųjų VoIP paslaugų teikimas; • Greitas ir paprastas naujų įmonės darbo vietų prijungimas prie VoIP tinklo;	• VoIP paslaugų teikimas priklauso nuo LTE technologijos suteikiamos duomenų perdavimo spartos; • Nėra užtikrinama paslaugų kokybė;

Atsižvelgiant į pateiktas LTE technologijos panaudojimo VoIP paslaugų teikimui pagal aptartus modelius stiprybes, silpnybes, galimybes ir grėsmes, galima paminėti, kad LTE technologijos taikymas VoIP paslaugų teikimui turi privalumų ir trūkumų lyginant su kitomis technologijomis, taikomomis balso perdavimui. Pagrindiniai privalumai yra tie, kad galima teikti tiek fiksuotas, tiek mobiliąsias VoIP paslaugas, šių paslaugų kaina yra mažesnė lyginant su kitų balso perdavimo sistemų teikiamomis paslaugomis. Taip yra todėl, kad balsas yra perduodamas internetu, plačiai paplitusiu tinklu visame pasaulyje ir tai leidžia komunikuoti labai dideliais atstumais, nepadidinant paslaugos kainos. Taip pat atsiveria gan lanksčios galimybės naudoti įvairius, tarpusavyje lengvai suderinamus prietaisus, veikiančius skirtingų operacinių sistemų pagrindu.

Pagrindinis trūkumas yra tas, kad paslaugų teikimas tiesiogiai priklauso nuo LTE tinklo operatorių ir nėra galimybės kontroliuoti LTE tinklo parametrų, todėl dėl kintamos LTE tinklo duomenų perdavimo spartos galimas paslaugų kokybės suprastėjimas. Taigi, nėra galimybės tiesiogiai kontroliuoti ir užtikrinti paslaugų kokybės. Be to nėra galimybės teikti komercinių VoIP paslaugų, nes šios paslaugos priklauso LTE tinklo operatoriams, bet galima teikti viešojo VoIP tinklo paslaugas. Tačiau nepaisant visų trūkumų, LTE technologijos panaudojimas VoIP paslaugų teikimui yra gan praktiškas ir suteikia daugiau galimybių lyginant su kitomis balso perdavimo sistemomis.

5. REZULTATŲ APIBENDRINIMAS

Šiame darbe yra išsamiai išnagrinėtas LTE mobiliojo ryšio standartas, jo panaudojimo galimybės, veikimo principai, charakteristikos ir specifikacijos. Taip pat apžvelgti 4G mobiliojo ryšio kartai keliama reikalavimai ir LTE standarto tobulinimo būdai, bei galimybės. Išnagrinėtos LTE standarto taikomos moduliacijų rūšys, jų privalumai ir trūkumai. Taip pat aptartos įvairių tinklų sujungimo galimybės ir tų pačių paslaugų tiekimas skirtingų technologijų tinklais. Įvertintos balso perdavimo galimybės naudojant LTE tinklą ir aptartos šioms sprendimams įgyvendinti reikalingos priemonės, šių sprendimų privalumai ir trūkumai.

Siekiant įvertinti balso pranešimų perdavimo galimybes ir VoIP paslaugų teikimą LTE tinklais buvo pasinaudota realiai veikiančiu „Omnitel“ mobiliojo ryšio operatoriaus LTE tinklu. Siekiant ištirti VoIP paslaugų teikimą LTE tinklu buvo naudojamos šio operatoriaus teikiamos paslaugos 1800 MHz dažnių ruože, esant 15 MHz pločio pralaidumo juostai.

Tyrimo metu buvo naudojamas *PJSIP* programų rinkinys, ryšiui tarp kompiuterių užmegsti ir balso pranešimams perduoti. Perduotų balso pranešimų kokybė buvo tikrinama taikant *PESQ* algoritmą. Pasinaudojus *PJSUA* programa, esančia *PJSIP* programų rinkinyje, buvo atliktas balso pranešimų perdavimas taikant PCMA, speex, G 7.22, AMR-NB ir AMR-WB kodekus. Pastebėta, kad pranešimų kokybė skiriasi, perdavimui naudojant skirtingus kodekus. Tai pat pastebėta, kad visiškai nepakitusių pranešimų perduoti nepavyko. Tačiau naudojant visus šiuos kodekus balso pranešimų kokybė yra gan gera ir dažnai vartotojo ausiai perduoto balso pranešimo pakitimai beveik nejaučiami. Išsiaiškinta, kad iš naudotų kodekų, efektyviausias kodekas yra PCMA, taikant šį kodeką gaunama geriausia perduotų pranešimų kokybė. Tačiau balso pranešimų generuojamas duomenų srautas yra gan didelis, kiti kodekai suteikia galimybes perduoti balso pranešimus naudojant mažesnę duomenų perdavimo spartą, bet gaunama pranešimų kokybės yra prastesnės lyginant su PCMA kodeko suteikiama pranešimų kokybe.

Taip pat palygintos balso pranešimų kokybės įverčių reikšmės, balso pranešimus perduodant taikant fizinį sujungimą ir LTE prieigą. Pastebėta, kad taikant LTE prieigą balso pranešimų kokybė yra beveik identiška, kaip ir taikant fizinį sujungimą, arba teikiant tradicines VoIP paslaugas. Iš to galima spręsti, kad naudojant LTE tinklą galima teikti ir naudotis VoIP paslaugomis, be to, šiomis paslaugomis galima naudotis taikant mobiliuosius įrenginius. Taigi, LTE standartas atveria duris mobiliosioms VoIP paslaugoms. Gauta mobiliųjų VoIP paslaugų pranešimų kokybė yra prastesnė lyginant su fiksuotos prieigos VoIP pranešimų kokybe arba su stacionarios LTE prieigos VoIP pranešimų kokybe, tačiau kokybės suprastėjimai nėra labai dideli, todėl galima teigti, kad yra galimybės naudoti mobiliąsias VoIP paslaugas naudojant mobiliuosius prietaisus.

Taip pat aptarti ir išanalizuoti galimi VoIP paslaugų LTE tinkle projektų modeliai, atlikti šių modelių ekonominio efektyvumo įvertinimai. Pastebėta, kad naudoti VoIP paslaugas naudojant LTE prieigą Lietuvos mastu nėra pelninga, dėl mažų mobiliojo ryšio telefonijos paslaugų kainos. Todėl buvo nagrinėjamas VoIP paslaugų teikimas tarptautiniu mastu. Pastebėta, kad VoIP paslaugų naudojimas tarptautiniu mastu yra pelningesnis nei mobiliojo ryšio telefonijos paslaugų naudojimas. Taigi, LTE technologijos naudojimas VoIP paslaugų teikimui suteikia galimybes naudotis daug pigesnėmis ne tik fiksuotomis, bet ir mobiliosiomis balso perdavimo paslaugomis tarptautiniu mastu. Taip pat išnagrinėtas viešojo VoIP tinklo kūrimo modelis, kurį įgyvendinus vartotojai gali naudotis VoIP tinklu už atitinkamą mokestį ir vykdyti telefoninius pokalbius šio tinklo viduje. Įvertintas šio projekto ekonominis atsiperkamumas, pastebėta, kad projektas yra pelningas.

Atlikus SSGG analizę, buvo aptarti LTE technologijos taikymo VoIP paslaugų teikimui privalumai ir trūkumai. Pagrindiniai privalumai yra tie, kad yra galimybės naudotis pigiomis balso perdavimo fiksuotomis ir mobiliosiomis paslaugomis, tačiau nėra galimybės užtikrinti paslaugų kokybę. Tačiau, nepaisant to, galima taikyti LTE technologiją VoIP paslaugų teikimui, šios paslaugos gali sudaryti konkurenciją kitoms balso perdavimo paslaugoms.

LITERATŪROS IR INFORMACINIŲ ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. LTE enciklopedija [interaktyvus] [žiūrėta 2013-03-16]. Prieiga per internetą:
< <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/home> >;
2. LTE standarto apžvalga [interaktyvus] [žiūrėta 2013-03-15]. Prieiga per internetą:
< http://www.motorola.com/web/Business/Solutions/Industry%20Solutions/Service%20Providers/Wireless%20Operators/LTE/Document/Static%20Files/6834_MotDoc_New.pdf >;
3. 4G mobilusis ryšys [interaktyvus] [žiūrėta 2014-01-08]. Prieiga per internetą:
< http://www.ericsson.com/res/region_RASO/docs/2012/Ericsson_4G%20Mobilution%2017%20Feb%202012_Final.pdf >;
4. 3GPP sistemų evoliucija [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-18]. Prieiga per internetą:
< http://www.ikr.uni-stuttgart.de/Content/itg/fg524/Meetings/2006-09-29-Ulm/01-3GPP_LTE-SAE_Overview_Sep06.pdf >;
5. OFDMA moduliacija [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-16]. Prieiga per internetą:
< <http://amanuel-wran.blogspot.com/2011/06/physical-layer-phy.html> >;
6. Balso perdavimas LTE tinkle [interaktyvus] [žiūrėta 2014-01-11]. Prieiga per internetą:
< <http://4g-lte-world.blogspot.com/2012/05/voice-solutions-in-lte.html> >;
7. LTE - Advanced [interaktyvus] [žiūrėta 2013-01-05]. Prieiga per internetą:
< <http://www.home.agilent.com/agilent/editorial.jsp?cc=FR&lc=fre&ckey=1905163&id=1905163> >;
8. LTE evoliucija [interaktyvus] [žiūrėta 2013-02-09]. Prieiga per internetą:
< <http://lteworld.org/blog/lte-advanced-evolution-lte> >;
9. PJSUA programos aprašymas [interaktyvus] [žiūrėta 2013-05-08]. Prieiga per internetą:
< <http://www.pjsip.org/pjsua.htm> >;
10. PESQ algoritmas [interaktyvus] [žiūrėta 2013-05-08]. Prieiga per internetą:
< <http://wireless.feld.cvut.cz/mesaqin2002/full09.pdf> >;
11. PCM kodeko aprašas [interaktyvus] [žiūrėta 2013-05-18]. Prieiga per internetą:
< <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv320aic1110.pdf> >;
12. Atviro kodo speex kodekas [interaktyvus] [žiūrėta 2013-05-18]. Prieiga per internetą:
< <http://www.speex.org/> >;
13. G.722 kodeko aprašas [interaktyvus] [žiūrėta 2013-05-19]. Prieiga per internetą:
< <http://www.agoralabs.com/speech-codec/g-722-codec.htm> >;
14. AMR kodeko aprašas [interaktyvus] [žiūrėta 2014-01-19]. Prieiga per internetą:
< <http://www.digitalpreservation.gov/formats/fdd/fdd000254.shtml> >.