ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Метод планування сучасних мереж мобільного зв’язку в умовах міської забудови»

на здобуття освітнього ступеня магістр
за спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(код,найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення
(назва)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Гліб ЛІСОГОР
(підпис) *(ім’я, ПРІЗВИЩЕ здобувача)*

Виконав: здобувач вищої освіти гр.АРДМ-61
Гліб ЛІСОГОР
(ім’я, ПРІЗВИЩЕ)
Керівник: Лариса ДАКОВА
(ім’я, ПРІЗВИЩЕ)
Рецензент: _____
(ім’я, ПРІЗВИЩЕ)

Київ 2024

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій
Ступінь вищої освіти «Магістр»
Спеціальність 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна прорама Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедрою МВТ
_____Наталія РУДЕНКО
“____” _____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
Лісогору Глібу Денисовичу

1.Тема кваліфікаційної роботи: Метод планування сучасних мереж мобільного зв’язку в умовах міської забудови
керівник кваліфікаційної роботи Лариса ДАКОВА, к.т.н., доцент
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 15.10.2024р. № 320

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2024р.

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи:
1.Технічні характеристики стандарту зв’язку;
2. Методологія розгортання;
3. Програмне забезпечення;
4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
1. Аналіз сучасного стану систем мобільного зв’язку та їх технічні складові;
2. Дослідження методології прогнозування та моделювання мережі LTE;
3. Оптимізація та практичне планування сучасних мереж безпроводового зв’язку.

5.Перелік ілюстраційного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання 26.10. 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір технічної літератури	26.10.24	Виконано
2.	Аналіз сучасного стану систем мобільного зв’язку.	29.10.24	Виконано
3.	Огляд характеристик та технічної складової систем мобільного зв’зку	11.11.24	Виконано
4.	Дослідження методології прогнозування та моделювання мережі LTE	19.11.24	Виконано
5.	Практичні дослідження оптимізації та планування мереж мобільного зв’язку	09.12.24	Виконано
7.	Розробка демонстраційних матеріалів, доповідь.	14.12.24	Виконано
8.	Оформлення магістерської роботи	20.12.24	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ Гліб ЛІСОГОР
(підпис) *(ім’я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Лариса ДАКОВА
(підпис) *(ім’я, ПРІЗВИЩЕ)*

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувач вищої освіти Лісогор Гліб Денисович

на тему: Метод планування сучасних мереж мобільного зв’язку в умовах міської забудови

Актуальність:

Телекомунікаційні мережі є напрямком невпинного прогресу, особливо в частині стільникового зв'язку. Ці досягнення з’являються в результаті нових вимог. На кожному етапі розвитку виникали нові вимоги, цілі яких неможливо було досягти за допомогою існуючих на той час технологій. Це призвело до величезних зусиль пошук передових технологій, які відповідають очікуванням користувачів. З початку останнього десятиліття року швидкими темпами почала розвиватись технологія LTE з багатьма їх випусками. Вона внесла величезні зміни в телекомунікаційну сферу щодо продуктивності та підтримуваних програм і різних дотатків. Відповідно до вищезазначених пунктів виникає необхідність у більш широкому дослідженні технології LTE, а також пов’язані з нею процеси планування та оптимізації.

Позитивні сторони:

1. Зміст магістерської роботи повністю відповідає завданню, а поставлені задачі виконані у повному обсязі.
2. У роботі представлено процедуру оптимізації, яку було виконано в поточному дослідженні шляхом серії змін і модифікацій, які зрештою призвели до покрашення результатів планування мережі.

Недоліки:

1. У роботі доцільно було б приділити більше уваги питанню безпеки, а саме різного роду чинникам які впливають на процес планування та функціонування мережі.
2. У магістерській роботі варто було б виконати аналіз альтернативного програмного забезпечення для планування та виконати порівняльний аналіз з використаним програмним забезпеченням Atoll.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку “відмінно”, а здобувач Лісогор Гліб Денисович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з електронних комунікацій та радіотехніки».

Рецензент: _____ _____

(підпис) *(ім’я, ПРІЗВИЩЕ)*

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально–науковий інститут Телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ДЕРЖАВНОЇ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістр

Направляється здобувач Лісогор Г.Д. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)
за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: «Метод планування сучасних мереж мобільного зв'язку в умовах міської забудови»

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Лісогор Гліб Денисович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти новими комп'ютерними технологіями, користуватися навчальною, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які були поставлені керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Лісогора Гліба Денисовича на оцінку "відмінно", та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з електронних комунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Лариса ДАКОВА
(підпис) *(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

«___» _____2024 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Лісогор Г.Д. допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедрою
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

«___» _____2024 року

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття ступня магістра: 80 стор., 125 рис., 14 табл., 32 дж.

Мета роботи – планування та оптимізації мереж LTE в умовах міської забудови.

Об'єкт дослідження – процес планування мережі мобільного зв'язку.

Предмет дослідження – мережа мобільного зв'язку 4G.

Короткий зміст роботи: У першому розділі виконано огляд сучасного стану розвитку мобільного зв'язку в Україні та світі. Проаналізовано технічні складові, особливості розгортання та поширення стандарту зв'язку.

У другому розділі представлено методологію дослідження, яка базується на обговоренні специфікацій технології, представлено зазначені вимоги та параметри а також наведено початкові параметри та етапи процесу оптимізації.

У третьому розділі обговорювалися результати, які були отримані після процесу оптимізації, які порівнюються з результатами, які були отримані до процесу оптимізації. Кожен результат обговорювався в стилі причини та наслідку.

На сам кінець надано перелік висновків та перелік практичних рекомендацій, прийнятих за результатами процесу оптимізації та моделювання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕРЕЖА, СТІЛЬНИК, ЧАСТОТА, МОДУЛЯЦІЯ, ПЛАНУВАННЯ, ПОХИБКА, МОДЕРНІЗАЦІЯ, LTE, MIMO, ENODB, СИНХРОНІЗАЦІЯ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

ABSTRACT

The text part of the qualification work for obtaining a master's degree: 80 pages, 125 figures, 14 tables, 32 sources.

The purpose of the work is planning and optimization of LTE networks.

The object of research is the process of planning a mobile network.

The subject of the research is the 4G mobile communication network.

Brief content of the work: In the first chapter, an overview of the current state of mobile communication development in Ukraine and the world is performed. The technical components, features of the deployment and spread of the communication standard were analyzed.

In the next section, the research methodology is presented, which is based on the discussion of the technology specifications, the specified requirements and parameters are presented, and the initial parameters and stages of the optimization process are given.

The practical part discussed the results that were obtained after the optimization process, which were compared with the results that were obtained before the optimization process. Each result was discussed in a cause and effect style.

At the very end, a list of conclusions and a list of practical recommendations, adopted as a result of the optimization and modeling process, is given.

KEY WORDS: NETWORK, CELL, FREQUENCY, MODULATION, SCHEDULING, ERROR, MODERNIZATION, LTE, MIMO, ENODB, SYNCHRONIZATION, QUALITY INDICATORS, SOFTWARE.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ....9
ВСТУП....10
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА ЇХ ТЕХНІЧНА СКЛАДОВА....12
1.1. Огляд ринку 4G LTE....12
1.2. Аналіз технічних особливостей технології LTE....18
1.3. Аналіз мтодології розгортання LTE....22
1.4. Дослідження технічних складових технології LTE....26
2. МЕТОДОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ LTE....32
2.1. Аналіз програмного забезпечення для планування сучасних мереж мобільного зв'язку....32
2.2. Специфікація для проведення дослідження щодо дизайну технології LTE....34
2.3. Огляд технологічних вимог....40
2.4. Прогнози та моделювання до встановлених початкових налаштувань....47
3. ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ПЛАНУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ....57
3.1. Процедура оптимізації планування мережі LTE....57
3.2. Результати планування мереж стільникового із застосуванням розглянутих процедур оптимізації....65
3.3. Обговорення результатів, рекомендації та перспективи майбутніх досліджень 85
ВИСНОВКИ....88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ....89
ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ....92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

BBU - Base band Unite;

BSS Base Station Subsystem;

GSM - Global System for Mobile Communications;

EPC - Evolved Packet Core;

HSS - Home Subscriber Server;

IMT-2020 International Mobile Telecommunications 2020;

QoS - Quality of Service;

LTE - Long-Term Evolution;

TDD - Time Division Duplex;

FDD - Frequency-division Duplexing;

FDMA - Frequency Division Multiple Access;

OFDMA - Orthogonal frequency-division multiplexing;

IP - Internet Protocol;

SGW - Serving Gateway;

SC-FDMA - Frequency-Division Multiple Access Scheme;

NB-IoT Narrow-Band Internet-of-Things;

MS - Mobile Station;

MIMO - Multiple Input Multiple Output;

MME - Mobility Management Entity;

PGW - Packet Data Network Gateway;

PCRF - Policy and Charging Rules Function;

QAM - Quadrature Amplitude Modulation;

RAN - Radio Access Network;

RRH - Remote Radio Head;

UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network;

VoLTE - Voice over LTE.

ВСТУП

Актуальність теми. Телекомунікаційні мережі є напрямком невпинного прогресу, особливо в частині стільникового зв'язку. Ці досягнення з’являються в результаті нових вимог. На кожному етапі розвитку виникали нові вимоги, цілі яких неможливо було досягти за допомогою існуючих на той час технологій. Це призвело до величезних зусиль пошук передових технологій, які відповідають очікуванням користувачів. З початку останнього десятиліття року швидкими темпами почала розвиватись технологія LTE з багатьма їх випусками. Вона внесла величезні зміни в телекомунікаційну сферу щодо продуктивності та підтримуваних програм, дотатків.

Планування та оптимізація таких мереж є темою дослідження протягом кількох десятиліть із різноманітністю ресурсів, таких як аналітичні формулювання та програмне забезпечення для моделювання, що використовується для характеристики різних сценаріїв з метою покращення пропускної здатності системи. Крім того, зараз світ став свідком народження перших комерційних мереж 5G New Radio з технологією, яка була розроблена для забезпечення доставки набагато вищих швидкостей передачі даних із порівняно меншими рівнями затримки.

У складних сценаріях 4G застосовується як ресурс, що дозволяє покращити покриття та пропускну здатність.

Іншим ключовим елементом для забезпечення успіху мереж 4G і наступного поколоіння є розгортання малих осередків для розвантаження макростільників.

Відповідно до вищезазначених пунктів виникає необхідність у більш широкому дослідженні технології LTE, а також пов’язані з нею процеси планування та оптимізації. Це дослідження здійснюється за допомогою реалістичного моделювання за допомогою програмного забезпечення Forsk Atoll, яке спрямоване на досягнення оптимальної продуктивності технологій.

Мета роботи - планування та оптимізації мереж LTE в умовах міської забудови.

Для виконання поставленої мети, у магістерській роботі розроблено та виконано наступні завдання:

- Аналіз сучасного стану систем мобільного зв’язку та їх технічні складові;
- Дослідження методології прогнозування та моделювання мережі LTE;
- Оптимізація та практичне планування сучасних мереж безпроводового зв’язку.

Об’єкт дослідження – процес планування мережі мобільного зв’язку.

Предмет дослідження – мережа мобільного зв’язку 4G.

Методи дослідження. У роботі було застосовано методи математичного та комп’ютерного імітаційного моделювання, теорії електрозв’язку.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА ЇХ ТЕХНІЧНА СКЛАДОВА

1.1. Огляд ринку 4G LTE

Обсяг глобального ринку 4G LTE у 2022 році становив 122,8 мільйона доларів США, і очікується, що до 2031 року ринок генеруватиме 206 037,49 мільйонів доларів США, зростаючи на 36,8% протягом прогнозованого періоду, рис.1.1.

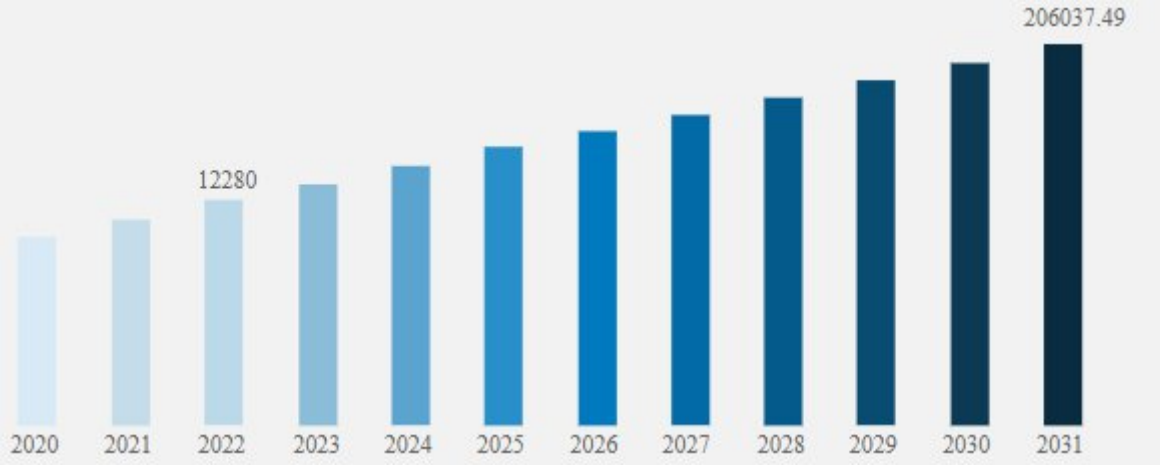


Рис. 1.1. Обсяг глобального ринку 4G LTE

Глобальна пандемія COVID-19 була безпрецедентною та шокуючою. Ринок 4G LTE відчуває вищий, ніж очікувалося, попит порівняно з рівнем до пандемії в усіх регіонах. Різке зростання CAGR пояснюється зростанням ринку та поверненням попиту до допандемічного рівня після закінчення пандемії [1].

Найновішою технологією, доступною для мобільного широкосмугового зв'язку, є 4G LTE. І LTE, і LTE Advance пропонують швидкість завантаження даних 30 Мбіт/с і 100 Мбіт/с відповідно. Ми також живемо в епоху складних технологій, які роблять більшість комп'ютерних функцій доступними для споживачів.

Основним чинником зростання мобільного широкосмугового доступу в усьому світі є використання Інтернету на мобільних пристроях, таких як планшети,

фаблети, смартфони та мобільні карти даних. З розвитком нових мобільних додатків, які пропонують потокове відео, відеодзвінки та різноманітні робочі функції в реальному часі, тепер потрібен високошвидкісний широкосмуговий Інтернет.

Глобальний ринок LTE розширився через зростання попиту на більш високу швидкість передачі даних і вищу спектральну ефективність через збільшення використання даних. Щоб розширити свій портфель продуктів, продавці на ринку пропонують конкурентоспроможні ціни та унікальні пропозиції.

За типом ринок можна класифікувати на LTE-TDD, LTE-FDD, LTE-advance, WiMax тощо. LTE-TDD є провідною частиною типового сегмента.

Залежно від застосування ринок можна розділити на побутову електроніку, обладнання бездротового зв'язку та інфраструктуру.

Побутова електроніка є основним сегментом додатків [2].



Рис. 1.2. Глобальна частка ринку 4G LTE за типом

Збільшення технологічних інновацій і розширення знань про них є рушійними силами ринку. Споживачі, які використовують мобільний широкосмуговий зв'язок, очікують швидкого, безперебійного та безперебійного доступу до даних. Ці очікування клієнтів значною мірою впливають на прийняття LTE. Користувачі можуть досягти швидкості близько 30 Мбіт/с за допомогою 4G LTE. У деяких регіонах 4G LTE може бути швидшим за повну швидкість широкосмугового зв'язку ADSL2+. Чим швидше з'єднання даних вашого

пристрою, тим ефективніше він може обмінюватися даними з онлайн-сайтами через браузер або програму. LTE-advance пропонує мобільним клієнтам фіксовану швидкість 1 Гбіт/с і швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с. Іншим важливим фактором, що стимулює використання частки ринку 4G LTE, є часові обмеження мереж 2G або 3G, які поступаються LTE [3].

Відомі гравці ринку докладають спільних зусиль, співпрацюючи з іншими компаніями, щоб зберегти конкурентну перевагу. Крім того, багато компаній інвестують у запуск нових продуктів, щоб розширити свій портфель продуктів. Злиття та поглинання також є однією з ключових стратегій, які використовують гравці для розширення портфоліо своїх продуктів.

Різні компанії зосереджуються на органічному розширенні бізнесу через анонси продуктів, схвалення продуктів, патенти та заходи. Придбання, партнерство та співпраця були одними з неорганічних стратегій зростання, які спостерігалися на ринку. Завдяки вищезгаданій діяльності гравці ринку заклали основу для розширення свого бізнесу та клієнтської бази. У зв’язку зі збільшенням попиту на фільтрувальні продукти на міжнародному ринку очікується, що гравці ринку отримають вигоду від значних можливостей зростання в найближчому майбутньому.

Список ключових гравців 4G LTE у світі: Verizon Wireless (США), AT&T (США), Sprint Nextel (США), MetroPCS (США), US Cellular (Сполучені Штати), SK Telecom (Корея),Alcatel-Lucent (Франція),Bharti Airtel Ltd (Індія), LM Ericsson (Швеція), Huawei Technologies (Китай), Vodafone Group PLC (Велика Британія).

На зростання галузі суттєво вплинула тактика, яку використовували гравці ринку в останні роки, зокрема експансія. Звіт надає деталі та інформацію про компанію та її взаємодію з ринком. Дані збираються та публікуються шляхом відповідних досліджень, технологічного прогресу, розширення, розширення машин і обладнання. Інші критерії, які розглядаються на цьому ринку, включають компанії, які розробляють і пропонують нові продукти, сфери, в яких компанії працюють, механізацію, інноваційні технології, отримання максимального прибутку та компанії, які використовують свої продукти для створення великого

соціального впливу. Аналіз в основному вивчає глобальний і регіональний вплив спалаху на ринок. Дослідження пояснює характеристики частки ринку та зростання ринку за типом, галуззю та сегментом клієнтів [3].

Аналізуючи поширення. Слід зазначити що зточки зору споживачів, перші роки 4G спостерігали слабке захоплення.

У всьому світі на кінець 2010 року, через рік після першого запуску технології, було лише 120 000 користувачів 4G. Хоча через 12 місяців ця кількість зросла до 8,8 мільйонів, на той час на LTE все ще припадало менше 0,2% усіх абонентів мобільного зв'язку в усьому світі.



Рис. 1.3. Поширення технології LTE у світі

Станом на кінець 2021 року в усьому світі було приблизно 4,15 мільярда абонентів 4G, рис.1.4. Для порівняння, за перше десятиліття послуг 3G ця технологія принесла лише приблизно чверть цієї цифри.

Найбільшим у світі ринком 4G за кількістю абонентів є Китай. Станом на кінець 2021 року в країні проживало 1,3 мільярда користувачів LTE, що значно випереджає наступну за величиною країну – Індію, у якій було близько 580 мільйонів. США посідають третє місце з приблизно 316 мільйонами, тоді як наступні ринки – Бразилія, Індонезія, Японія – мають від 100 до 150 мільйонів абонентів 4G [5].

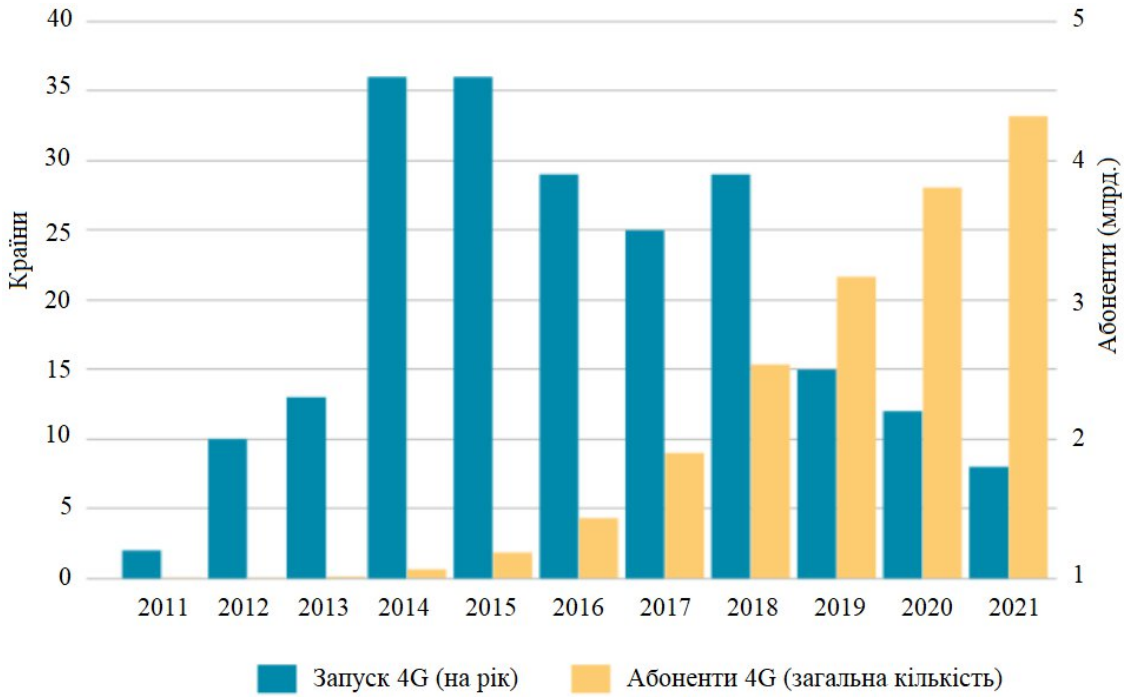


Рис.1.4 Кількість запусків та абонентів LTE 4G, період 2011-2021

Таблиця 1.1

Старт реалізації мережі по країнам

Рік	Країна
2009 рік	Норвегія, Швеція
2010 рік	Німеччина, Японія, США
2011 рік	Австралія, Канада, Південна Корея
2012 рік	Бразилія, Франція, Індія, Росія, Південна Африка
2013 рік	Китай, Малайзія, Іспанія
2014 рік	Аргентина, Індонезія, Кенія
2015 рік	Камерун, Ефіопія
2016 рік	Гана, Туреччина, В'єтнам
2017 рік	Єгипет, Сирія
2018 рік	Бангладеш, Україна

На кінець 2021 року на 4G припадало понад чотири п’ятих усіх абонентів мобільного зв’язку в країні, при цьому China Mobile претендувала на приблизно 60% загального ринку.

Але є ще невелика кількість ринків без мереж LTE, де користувачі обмежені підключенням 2G і 3G. Серед них Центральноафриканська Республіка, Кокосові

острови, Еритрея, Мавританія, Північна Корея, Сен-П'єр і Мікелон, Сан-Томе і Принсіпі, Південний Судан і Ємен.

Аналізуючи сучасний стан розвитку та поширення технологій 4G, слід згадати що в першій половині березня 2018 був проведений тендер розподілу частотного ресурсу між операторами нашої країни. Розподіл спектрів представлено на рис.1.5.

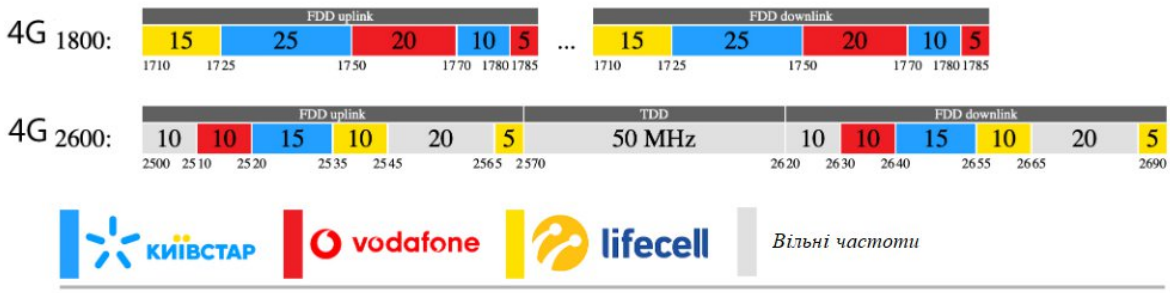


Рис. 1.5. Частоти операторів України стандарту LTE

Як приклад, далі мною проаналізовано впровадження технології LTE на базі оператора Київстар.

У першому кварталі 2022 р. компанія вже забезпечувала швидкісним зв'язком передачі даних майже 90% користувачів нашої країни. Майже 13 млн клієнтів на постійній основі використовували тільки 4G. Середня кількість трафіку який споживається орієнтовно складає10 Гб кожного місяця, рис.1.6.



Рис. 1.6. Використання сервісів LTE

У 2024 р. технології 4G досі є одними з перспективних у нашій країні, оскільки на їх база є напрямком подальшого еволюціонування систем. В такому разі компанії України в подальшому інвестують у розвиток, безпосередньо в VoLTE а також іншого роду перспективних технічних рішень.

1.2. Аналіз технічних особливостей технології LTE

LTE базується на мультиплексуванні з ортогональним частотним поділом (OFDM), що дає змогу ефективно передавати через більшу смугу пропускання, залишаючись стійким до умов каналу та перешкод. У низхідній лінії зв'язку, тобто від базової станції до обладнання користувача, LTE використовує OFDMA (множинний доступ з ортогональним частотним поділом каналів), а у висхідній лінії зв'язку, тобто від обладнання користувача до базової станції, він використовує SC-FDMA (одна несуча – множинний доступ з частотним поділом каналів). SC-FDMA прийнято для висхідної лінії зв'язку завдяки його низькому відношенню пікової до середньої потужності (PAPR) порівняно з OFDMA. Це дає змогу покращити покриття у висхідній лінії зв'язку завдяки ефективному використанню підсилювача потужності [6].

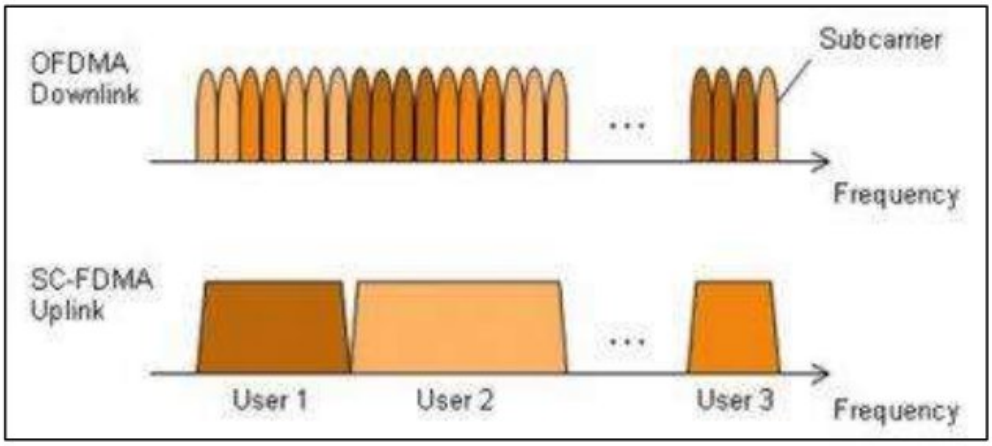


Рис. 1.7. OFDMA та SC-FDMA

OFDM розділяє широкосмугову несучу на кілька вузькосмугових ортогональних піднесучих, що перекриваються, для перенесення даних.

Представлення частотно-часової області сигналу OFDM 5 МГц показано на рис.1.8. Представлення частотно-часової області сигналу OFDM.

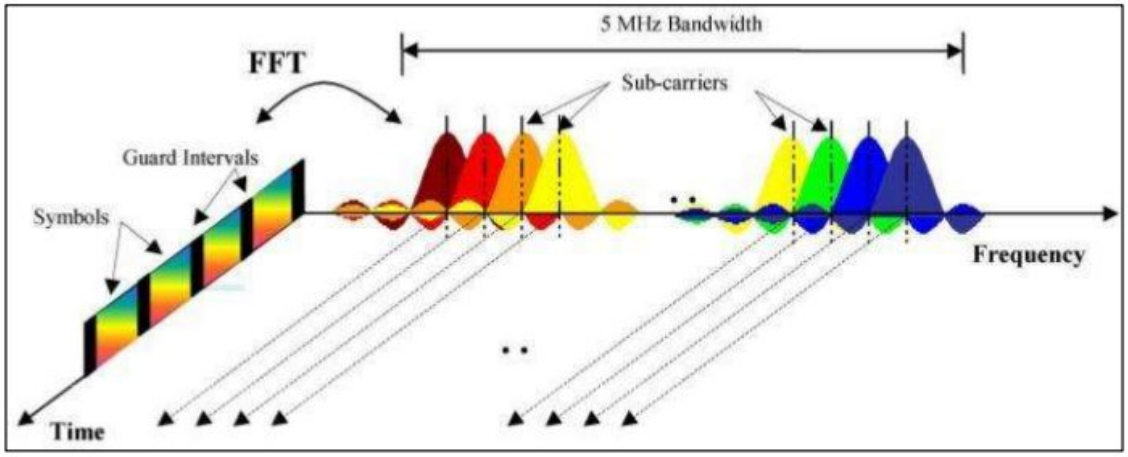


Рис. 1.8. Представлення сигналу OFDM у частотно-часовій області

Технологія OFDMA була включена в LTE, оскільки вона забезпечує ефективну передачу даних у високій смузі пропускання, водночас забезпечуючи високий ступінь стійкості до відображень і перешкод. LTE спочатку був розроблений для підтримки масштабованої смуги пропускання (BW) до 20 МГц з піковою швидкістю передачі даних 300 Мбіт/с за допомогою конфігурації 4 × 4 із множинним входом і множинним виходом (MIMO) і модуляцією 64 QAM, а пізніше розширено для підтримки до 100 МГц шляхом об’єднання п’яти несучих 20 МГц. Уніфікована структура кадру та символу визначена для всіх підтримуваних смуг пропускання з однаковим інтервалом піднесучих 15 кГц [7].

Структура кадру LTE. LTE використовує OFDM як форму сигналу та визначає два типи структур кадру для дуплексного режиму з частотним поділом (FDD) і дуплексного з часовим поділом (TDD).

Довжина радіокадру становить 10 мс, і він розділений на 10 підкадрів тривалістю 1 мс кожен. Кожен підкадр складається з двох слотів довжиною 0,5 мс кожен. Кожен слот містить 7 (для звичайного CP) або 6 (для розширеного CP) символів OFDM. Одиницею розподілу є блоки ресурсів (RB), які складаються з однієї тривалості слота та 12 піднесучих.

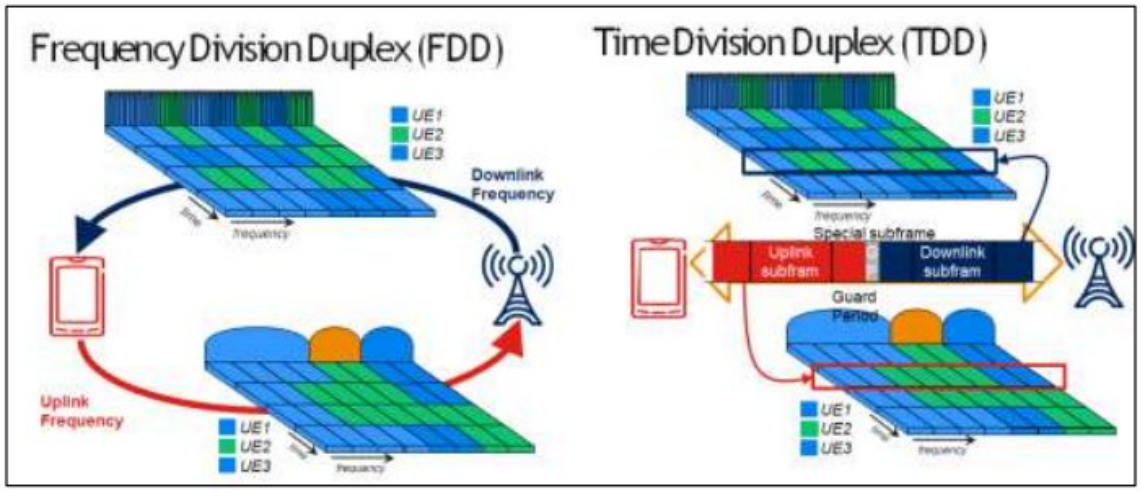


Рис. 1.9. FDD і TDD

Планування здійснюється в термінах пар RB. Елемент ресурсу (RE) є найменшим елементом у RB, який має одну піднесучу на одну тривалість символу OFDM. Таким чином, RB складається з 84 RE (для звичайного CP) або 72 RE (для розширеного CP).

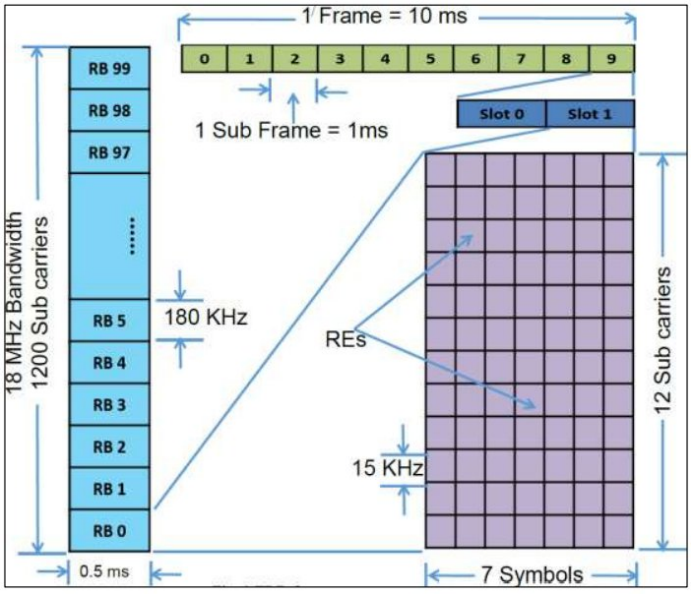


Рис. 1.10. Структура кадру, що використовується для FDD

Слід зазначити, що не всі піднесучі використовуються для передачі. Наприклад, піднесучу постійного струму та піднесучі на краях залишають як захисну смугу. Є 100 RB в 20 МГц BW [6,7]

Просторове мультиплексування. Просторове мультиплексування (SM) дозволяє передавати різні потоки даних на одному часовому та частотному ресурсі, використовуючи просторовий вимір радіоканалу. Коли це виконується для підвищення спектральної ефективності шляхом використання кількох антен у eNodeB і одного користувача, це називається MIMO для одного користувача (SU-MIMO). Коли кілька антен у eNodeB і кілька антен, розташованих між користувачами, розташованими в різних географічних місцях, використовуються для збільшення загальної пропускної здатності системи, це називається багатокористувацьким MIMO (MU-MIMO) [7].

Рознесення передачі. Схеми рознесення передачі відіграють ключову роль у забезпеченні надійного зв'язку в сценаріях завмирання. Це допомагає підвищити надійність передачі даних, надсилаючи копії через кілька передавальних антен. Спеціальний код антени w.r.t. канал застосовується до сигналу перед передачею, щоб досягти посилення рознесеності в приймачі. Відповідні режими MIMO вибираються на основі швидкості користувача, співвідношення сигнал/перешкода каналу плюс шум (SINR) і можливості обладнання користувача.

Адаптація посилання. Адаптація каналу зв'язку — це техніка, яка використовується eNodeB для вибору відповідної модуляції та швидкості кодування на основі зворотного зв'язку інформації про якість каналу від UE для максимізації пропускної здатності. UE обчислює SINR після обробки приймача та відображає відповідний MCS, що підтримується LTE, і індекс повертається до eNodeB [8].

Зіставлення тарифів. Дані, що передаються в UE в LTE, представлені в термінах транспортних блоків (ТВ).

Розмір ТВ в LTE має заздалегідь визначену довжину, і, крім того, розподіл ресурсів здійснюється в термінах, кратних парам RB. Вибраний розмір ТБ може не відповідати розміру виділених ресурсів. Щоб помістити ТВ у виділені ресурси, деякі біти будуть пробиті або додадуться додаткові біти залежно від бітів у ТВ та кількості бітів, які можуть вмістити виділені ресурси. Виколювання та повторення призведуть до збільшення та зменшення кодової швидкості відповідно.

1.3. Аналіз мтодології розгортання LTE

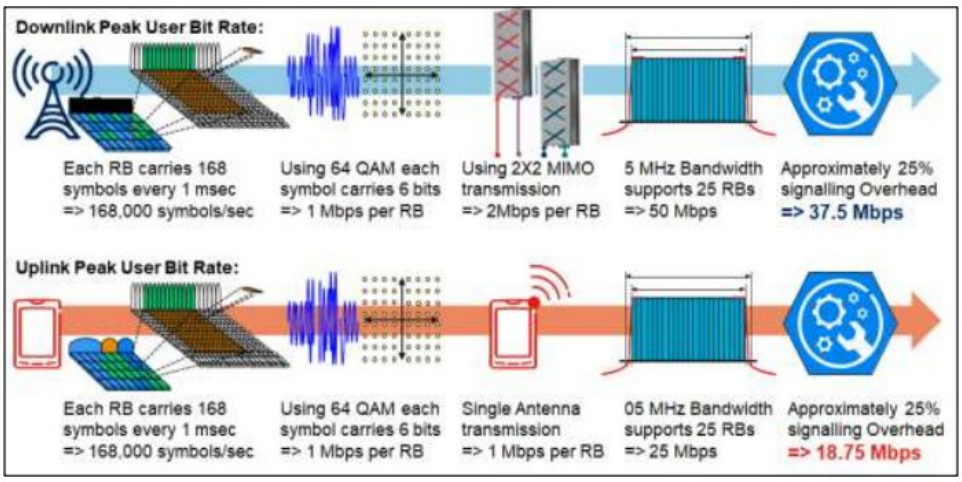


Рис. 1.11. Пікові користувальницькі бітрейти LTE на 05 МГц BW

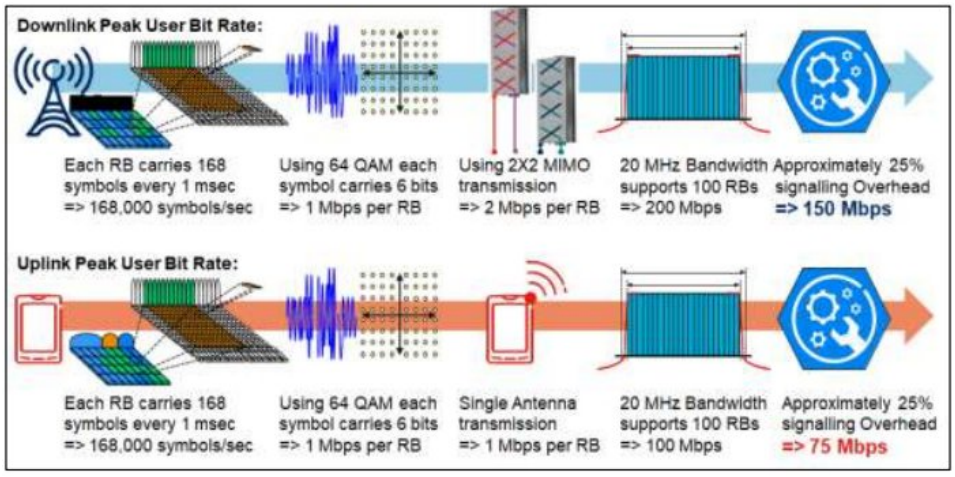


Рис. 1.12. Пікові користувальницькі бітрейти LTE при BW 20 МГц

Архітектура системи LTE. Мережа LTE, яка називається EPS, поділяється на дві частини: частину LTE, яка стосується технології, пов’язаної з мережею радіодоступу, вдосконаленою універсальною наземною мережею радіодоступу (E-UTRAN), і частину, яка стосується розвинутого пакетного ядра (EPC), яка стосується технології, пов’язаної з базова мережа. Обладнання користувача (UE) підключається до EPC через E UTRAN (мережа доступу LTE) [7,8].

Evolved NodeB (eNodeB) є базовою станцією для радіо LTE. EPC складається з п’яти елементів мережі: обслуговуючий шлюз (Serving GW), шлюз PDN (PDN GW), MME, PCRF і HSS. Рис. 1.13 архітектура LTE.

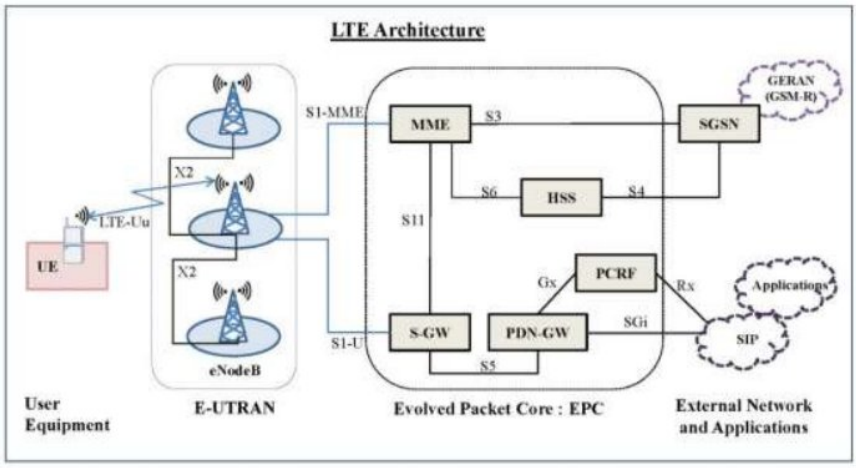


Рис. 1.13. Архітектура LTE

Розширена універсальна наземна мережа радіодоступу (E-UTRAN). E-UTRAN або LTE є частиною доступу до вдосконаленої пакетної системи (EPS). EUTRAN — це мережа радіодоступу (RAN) із базовими станціями, які називаються вдосконаленими вузлами B (eNB), за допомогою яких обладнання користувача (UE) підключається до базової мережі LTE. Немає централізованого інтелектуального контролера, і eNB зазвичай з’єднані між собою через інтерфейс X2 і до основної мережі через інтерфейс S1. Причиною розподілу інтелекту між базовими станціями в LTE є прискорення встановлення з’єднання та скорочення часу, необхідного для передачі [9]

Він забезпечує вищу швидкість передачі даних, меншу затримку та оптимізований для пакетних даних.

Він використовує радіодоступ OFDMA для низхідної лінії зв’язку та SC-FDMA для висхідної лінії зв’язку.

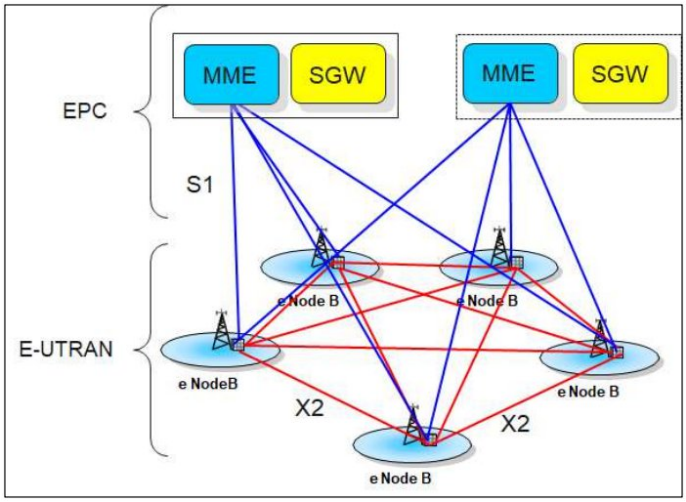


Рис. 1.14. E-UTRAN

Розвинений вузол B (eNB). Evolved NodeB (eNodeB) є базовою станцією для радіо LTE. eNodeB — це вузол RAN (мережі радіодоступу) в архітектурі мережі, який відповідає за радіопередачу та прийом від UE (обладнання користувача) в одній або кількох комірках.

Зона радіопокриття eNodeB називається коміркою. Відповідно, стільниковий вузол - це місце, де розміщено радіообладнання eNodeB та його антени.

eNodeB підключається до вузлів EPC за допомогою інтерфейсу S1. eNodeB також підключений до сусідніх eNodeB за допомогою інтерфейсу X2. eNB є еквівалентом BSS у GSM-R (Ghosh, 2011). Фізично eNodeB складається з наступного:

- антена;
- дистанційна радіоголовка (RRH).

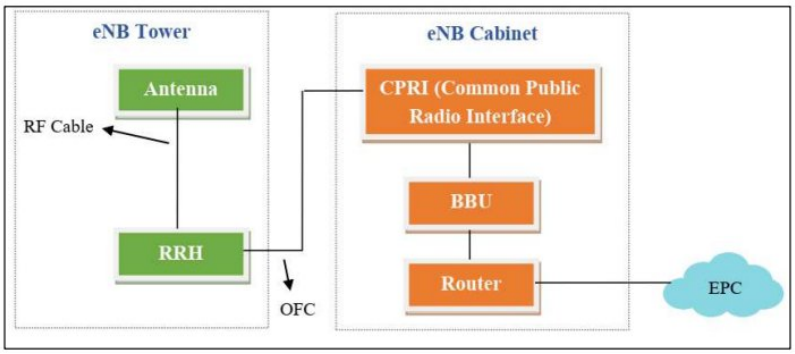


Рис. 1.15. Блок-схема обладнання eNB

Антена. LTE використовує технологію множинних входів і множинних виходів (MIMO) як антенну технологію. MIMO — це техніка, за якої на передавач і приймач використовується кілька антен для підвищення надійності зв’язку та спектральної ефективності. Однією з головних проблем, з якими стикалися попередні телекомунікаційні системи, є численні сигнали, що виникають через численні відбиття, які виникають під час розгортання антен. Використовуючи MIMO, ці додаткові шляхи сигналу можна використати з перевагою та їх можна використовувати для збільшення пропускної здатності [10].

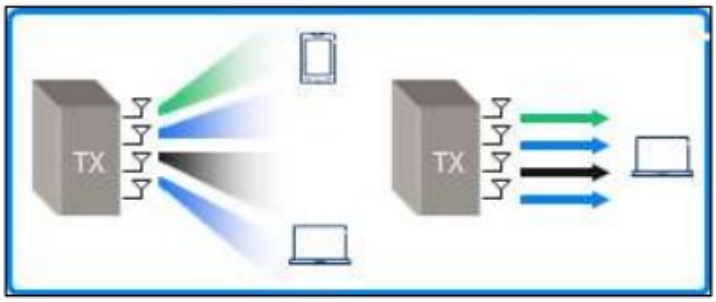


Рис. 1.16. MIMO

Залежно від типу антени може бути два типи розгортання стільникового зв’язку: всеспрямований стільниковий зв’язок і стільниковий зв’язок із секторами. Всеспрямована комірка, яка також називається omnicell, включає в себе антену Omni для покриття сигналів у 360-градусному полі, тобто практично у всіх напрямках [11].

На відміну від omnicecell, секторні комірки були розроблені для підвищення ємності стільникової системи. Секторизація означає, коли комірки діляться на різні частини, які називаються секторами. Антена для eNodeB замінена секторною антеною з іншим порядком секторізації, напр. три, шість або дев'ять з кутом охоплення 120, 60, 40 градусів відповідно, де кожен сектор покривається однією з секторних антен. Важливість секторізації стільникового зв’язку в основному пов’язана з покращенням можливостей передачі та збільшенням пропускної здатності, і, отже, вона широко використовується галузями мобільного зв’язку для збільшення швидкості передачі даних.

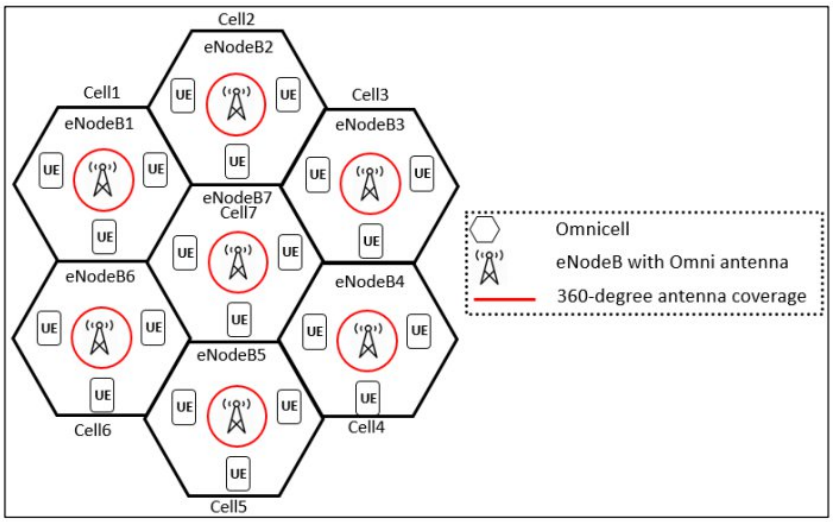


Рис. 1.17. Типова структура omnicecell LTE

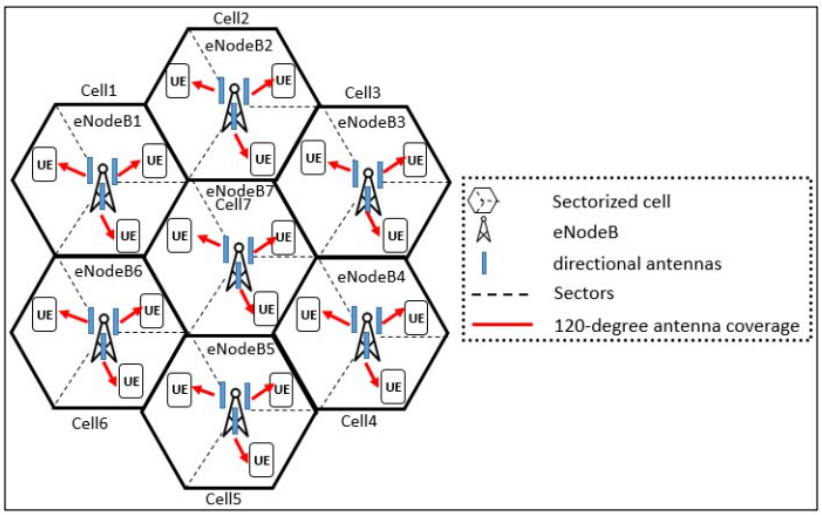


Рис. 1.18. Типова структура 3-секторних комірок LTE (кожна комірка включає 3 сектора по 120 градусів)

1.4. Дослідження технічних складових технології LTE

Дистанційна радіоголовка (RRH). с передає та приймає бездротові сигнали. RRH перетворює цифрові сигнали основної смуги від BBU, які були піддані протокольній обробці, у радіочастотні (RF) сигнали та підсилює їх для передачі на UE. РЧ-сигнали, отримані від UE, посилюються та перетворюються на цифрові сигнали основної смуги частот для передачі в BBU [12].



Рис. 1.19. Дистанційна радіоголовка

Модуль базової смуги (BBU). BBU відповідає за цифрову обробку сигналу базової смуги, завершення лінії S1, яка використовується для з'єднання з базовою мережею, завершення лінії X2, яка використовується для з'єднання з сусіднім eNodeB, обробку викликів і обробку контролю моніторингу. IP-пакети, отримані від базової мережі, модулюються в цифрові базові сигнали та передаються до RRH. Цифрові базові сигнали, отримані від RRH, демодулюються, а IP-пакети передаються в базову мережу.



Рис. 1.20. Модуль базової смуги

Інтерфейс між BBU та RRH здійснюється за допомогою оптоволоконного кабелю та відповідає специфікації CPRI (Common Public Radio Interface) або OBSAI (Ініціатива відкритої архітектури базових станцій) (Ghosh, 2011).

BBU та RRH повинні працювати на частоті 5 МГц (в парі) у діапазоні 700 МГц (703–748 МГц у висхідній лінії зв'язку та 758–803 МГц у низхідній лінії зв'язку), виділеному Індійським залізницям. eNodeB (BBU та RRH) має підтримувати Omni Cell і Cell Sectorization (Sectorization) і конфігурацію MIMO відповідно до вимог сайту [12].

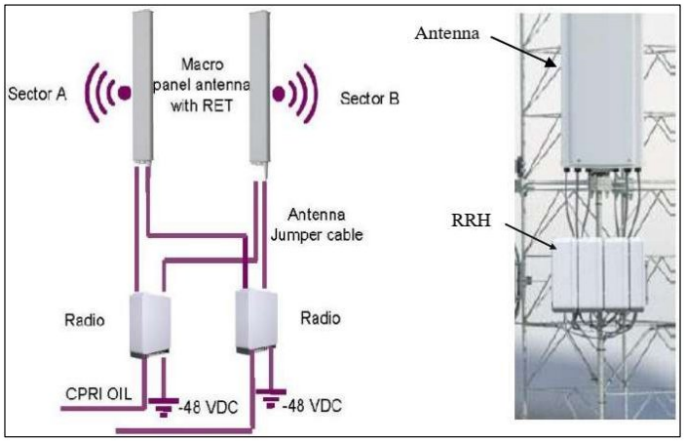


Рис. 1.21. Антена eNB із RRH



Рис. 1.22. Антена eNB з RRH (Фактичний сценарій)

Розширене пакетне ядро (EPC). Розширене пакетне ядро (EPC) — це базова мережа системи LTE. Це основа для надання конвергентного голосу та даних у мережі LTE. Мережні архітектури 2G і 3G обробляють і комутують голос і дані через два окремі субдомени: з комутацією каналів (CS) для голосу та з комутацією пакетів (PS) для даних. Evolved Packet Core об’єднує голос і дані в архітектурі служби Інтернет-протоколу (IP), а голос розглядається як ще одна програма IP. Це дозволяє операторам розгортати та експлуатувати одну пакетну мережу для 2G, 3G та LTE. EPC складається з чотирьох елементів мережі: Mobility Management Entity (MME), Home Subscriber Server (HSS), Serving Gateway (S-GW) і Packet Data Network Gateway (PGW) [13].

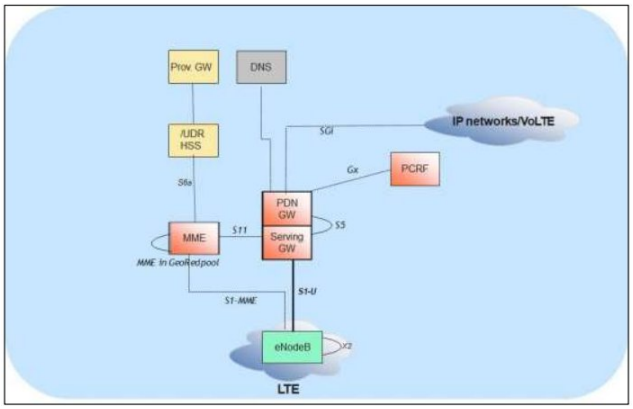


Рис. 1.23. Інтерфейси EPC

Організація управління мобільністю (MME). MME є ключовим вузлом керування для мережі доступу LTE. Він обробляє сигналізацію, пов'язану з мобільністю та безпекою для доступу E-UTRAN. Він бере участь у процесі активації/дезактивації носія, а також відповідає за вибір шлюзу обслуговування для UE під час початкового підключення та під час хендовера всередині LTE. Він керує станами сесії та відповідає за автентифікацію користувача (шляхом взаємодії з сервером домашнього абонента). Він відповідає за відстеження та пейджинг UE в режимі очікування. Це кінцева точка сигналізації Non Access Stratum (NAS) і відповідає за створення та розподіл тимчасових ідентифікаторів для UE. MME також забезпечує функцію рівня керування для мобільності між мережами доступу LTE та 2G/3G за допомогою інтерфейсу S3 та завершує інтерфейс S6a до HSS для роумінгу UE.

Домашній абонентський сервер (HSS). HSS (для Home Subscriber Server) — це база даних, яка містить інформацію про користувачів і абонентів. Він також надає допоміжні функції для керування мобільністю, налаштування викликів і сеансів, автентифікації користувачів і авторизації доступу [14].

Домашня мережа може містити одну або кілька HSS: це залежить від кількості мобільних абонентів, від потужності обладнання та від організації мережі.

Шлюз обслуговування (S-GW). Шлюзи (Serving GW і Packet Data Network GW) працюють з площиною користувача. Вони передають IP-трафік даних між

обладнанням користувача (UE) і зовнішніми мережами. Обслуговуючий GW є точкою з'єднання між радіостанцією та EPC. Як вказує його назва, цей шлюз обслуговує UE шляхом маршрутизації вхідних і вихідних IP-пакетів. Для кожного UE, пов'язаного з EPS, у певний момент часу існує один обслуговуючий GW. Для обладнання користувача в стані очікування обслуговуючий шлюз припиняє шлях даних низхідної лінії зв'язку та запускає пейджинг, коли дані надходять до обладнання користувача низхідної лінії зв'язку.

Це опорна точка для мобільності всередині LTE (тобто у випадку передачі між eNodeB) і між LTE та іншими доступами 3GPP. Він логічно підключений до іншого шлюзу, PDN GW.

Шлюз мережі пакетних даних (P-GW). PDN GW діє як інтерфейс між мережею LTE та зовнішніми IP-мережами. Він керує якістю обслуговування (QoS). PDN GW направляє пакети до та з PDN. PDN GW виконує примусову політику, фільтрує пакети для кожного користувача, підтримує тарифікацію, законне перехоплення та скринінг пакетів. Інша ключова роль PDN GW полягає в тому, щоб діяти як якір для мобільності між 3GPP і не-3GPP технологіями, такими як WiMAX і 3GPP2. 3GPP визначає ці шлюзи незалежно, але на практиці вони можуть бути об'єднані в одній «коробці» постачальниками мереж. Частина обладнання користувача (UE) може мати одночасне з'єднання з більш ніж одним мережевим шлюзом пакетної передачі даних для доступа до кількох мереж пакетної передачі даних. Якщо UE отримує доступ до кількох PDN, для цього UE може бути більше одного GW PDN [15]. PDN GW і обслуговуючий GW можуть бути реалізовані в одному фізичному вузлі або окремих фізичних вузлах.

Функція політики та правил стягнення плати (PCRF). Функція політики та правил стягнення плати (PCRF) є комбінацією функції правил стягнення плати (CRF) і функції прийняття рішень щодо політики (PDF). PCRF об'єднує та розширює можливості попередніх версій 3GPP для забезпечення динамічного контролю політики та тарифікації на основі кожного абонента та IP-потоку. Він відповідає за прийняття рішень щодо керування політикою, а також за керування функціональними можливостями нарахування плати на основі потоку у функції

контролю за політикою (PCEF), яка знаходиться в P-GW. PCRF забезпечує авторизацію QoS (якість обслуговування), яка вирішує, як певний потік даних буде оброблятися в PCEF, і гарантує, що це відповідає профілю підписки користувача.

Коротше кажучи, PCRF є менеджером політики технології LTE. Усі правила та норми якості обслуговування (QoS) поширюються на PDN GW через PCRF.

Інтерфейси в LTE. Інтерфейс являє собою канал, по якому два об'єкти мережі обмінюються інформацією. Інтерфейси необхідні в LTE для доставки інформації (сигналізації або даних користувача) для абонента або елемента мережі. Різні мережеві інтерфейси визначаються 3GPP. Усі постачальники або виробники мереж повинні дотримуватися цих стандартів [16]

Таблиця 1.2

Інтерфейси мережі LTE

Назва інтерфейсу	Підключення вузлів
LTE-Uu	UE&eNB
S1-U	UE& S-GW
S1-MME	UE&MME
X2	UE&eNB
S11	MME&S-GW
S5/S8	S-GW&P-GW
S7	P-GW&PCRF
S10	MME&MME
S6a	MME&HSS

Еволюція мережі до LTE представлена на рис.1.24.

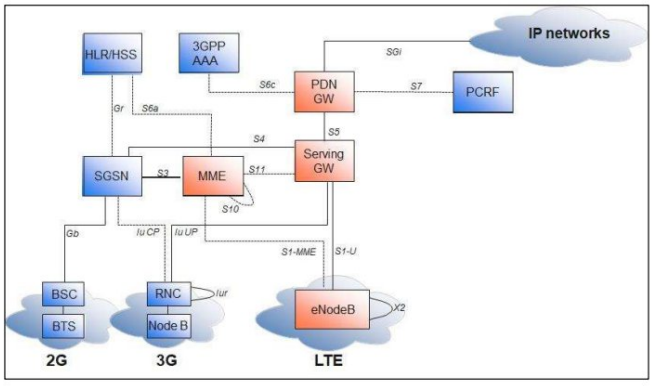


Рис. 1.24. Еволюція LTE

2. МЕТОДОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ LTE

2.1. Аналіз програмного забезпечення для планування сучасних мереж мобільного зв'язку

В якості програми моделювання, у роботі мною було обрано одне з найпопулярніших рішень, а саме платформа Atoll. Atoll — це 64-розрядна мультитехнологічна бездротова мережева платформа для проектування та оптимізації, яка підтримує бездротових операторів протягом усього життєвого циклу мережі, від початкового проектування до ущільнення та оптимізація.

Atoll включає інтегровану єдину мережу RAN – кілька можливостей проектування мережі RAT для обох 3GPP.

Технологічні потоки (GSM/UMTS/LTE) і 3GPP2 (CDMA/LTE). Він забезпечує операторів і постачальників з потужною рідною 64-розрядною платформою для проектування та оптимізації поточного та майбутнього інтегрованого мультитехнологічні мережі. Atoll підтримує новітні технологічні досягнення, такі як HetNets і розвантаження Wi-Fi [17].

Функції інтеграції та автоматизації Atoll допомагають операторам плавно автоматизувати планування та процеси оптимізації за допомогою гнучких сценаріїв і механізмів на основі SOA. Атол підтримує широкий діапазон сценаріїв впровадження, від автономних до серверних конфігурацій для всього підприємства.

Завдяки більш ніж 5000 активним ліцензіям, встановленим понад 300 клієнтами в 100 країнах, Atoll став галузевий стандарт для планування та оптимізації радіомережі.

Технологічна матриця на рис.2.1 показує модулі, які підходять для кожної технології. Кілька технологій можна комбінувати в тій же конфігурації Atoll для планування інтегрованих мультитехнологічних проектів.

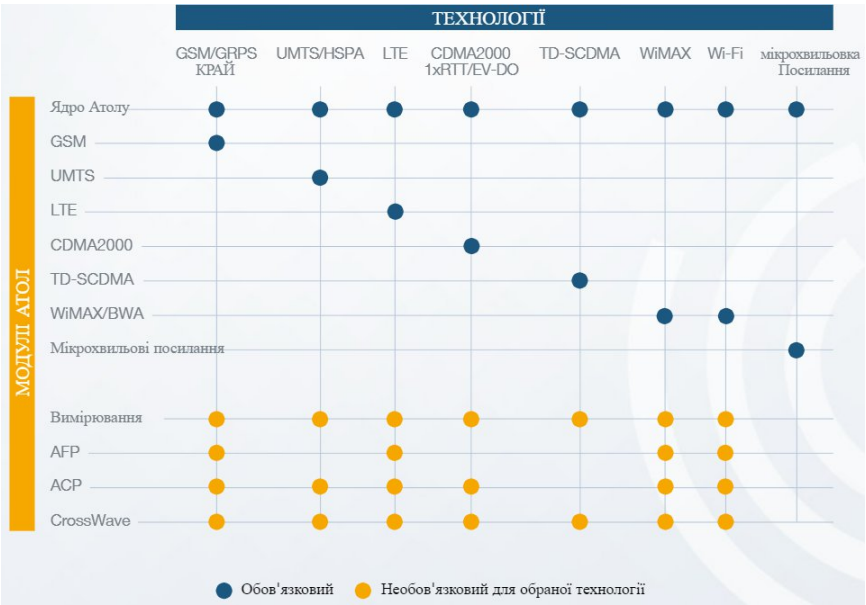


Рис. 2.1. Технологічна матриця

У 1997 році компанія Forsk випустила першу версію Atoll, свого флагманського програмного забезпечення для радіопланування. Atoll поєднує в собі функції проектування та автоматизації, які дозволяють операторам плавно та поступово впроваджувати процеси SON у своїй організації. Сьогодні Forsk є глобальним постачальником з понад 450 клієнтами в 120 країнах і стратегічним партнерством з великими гравцями в галузі [18].

Forsk поширює та підтримує Atoll безпосередньо з офісів і центрів технічної підтримки у Франції, США та Китаї, а також через всесвітню мережу дистриб'юторів і партнерів (Посібник користувача Atoll для радіомереж). З моменту випуску першого випуску Atoll компанія Forsk була відома своєю здатністю створювати адаптоване середовище планування та оптимізації радіозв'язку «під ключ» на основі Atoll (посібник користувача Atoll для радіомереж).

Щоб допомогти операторам оптимізувати процеси планування та оптимізації радіозв'язку, Forsk надає повний спектр послуг із впровадження, включаючи інтеграцію з існуючою IT-інфраструктурою, автоматизацію, а також міграцію даних, інсталяцію та послуги навчання (Посібник користувача Atoll для радіомереж) [19].

2.2. Специфікація для проведення дослідження щодо дизайну технології LTE

Місцем для проведення дослідження було обрано район, розташований у провінції Сана, Ємен. Дана територія в даний час є міською, і в деяких її частинах може розглядатися як приміська зона.

Область дослідження показана на рис.2.2, і вона оточена трьома шарами, які підтримуються програмним забезпеченням Atoll. Ці шари: зона фільтрації синім кольором, зона обчислення у лінії та зона фокусування зеленим кольором.



Рис. 2.2. Розташування дослідження в межах 3 шарів атолу

Розмір області. Як згадувалося раніше, область дослідження визначена в межах 3 рівнів, які підтримуються програмним забезпеченням Atoll. Ці шари: зона фільтрації синім кольором, зона обчислення у лінії та зона фокусування зеленим кольором.

Оскільки обчислювальна зона є місцем, де виконуються фактичні розрахунки, вона буде вважатися фактичною областю дослідження, і ця область має розмір 29,47 км². Розмір зони обчислення та її координація на карті показані на рис.2.3.

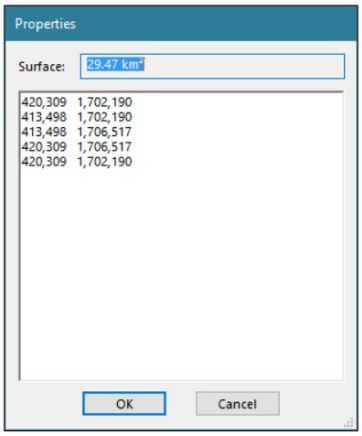


Рис. 2.3. Розмір зони обчислення та її координація

Розповсюдження сайтів. Як консервативний сценарій урядовий регулятор, який визначає умови електромагнітної сумісності для таких випадків, обирає відстань у 10 км. Обмеження для радіусу стільника базової станції LTE-800 визначено комерційними операторами LTE-800 на основі маркетингових і комерційних факторів, вирішено використовувати значення 1 км [19]. Відповідно до [20], існує компроміс між розміром комірки та зусиллям виявлення 64 преамбул PRACH. У наступній табл.2.1 показано співвідношення між зусиллям, радіусом комірки, кількістю кореневих послідовностей і кількістю циклічних зсувів на кореневу послідовність.

Таблиця 2.1

Зусилля виявлення PRACH в порівнянні з радіусом комірки

Радіус комірки (км)	Кількість преамбул PRACH і зусилля виявлення в %	Кількість циклічних зсувів на кореневу преамбулу
0-1,875 км	1-100%	64
1,875-3,75 км	2-200%	32
3,75-7,5 км	4-400%	16
7,5-15 км	8-00%	8
15-30 км	16-1600%	4
30-60км	32-3200%	2
>60км	64-6400%	1

Коли радіус комірки менший за 1,875 км, потрібна лише одна єдина коренева послідовність у межах 64 можливих циклічних зсувів, щоб досягти найменших зусиль виявлення PRACH. Відповідно до [19], у системі LTE-TDD визначено дві деталізації фазової точності, 1,5 і 5 1s, що відповідає двом розмірам радіуса комірки, диференційованим на 3 км. У табл.2.2 наведено короткий перелік вимог до синхронізації для різних режимів мобільної мережі.

Таблиця 2.2

Мобільні технології, точність частоти та радіус комірки

Технологія радіодоступу	Вимога синхронізації	
	Точність частоти	Точність фази
GSM,UMTS, WCDMA, LTE-TDD	50	NA
CDMA2000	50	± 3 до ± 10 μs
TS-SCDMA	50	± 3 μs
LTE-TDD	50	$\pm 1{,}5$ μs(для радіуса комірки $\leq$ 3км)
5G-NR	50	$\pm 1{,}5$ μs

Відповідно до всієї інформації, згаданої раніше, для цього дослідження було обрано шаблон базової станції під назвою (10MHz - FDD - Urban (3 сектори)) з радіусом шестикутника 1000м. Таким чином в межах досліджуваної території було створено 5 ділянок.

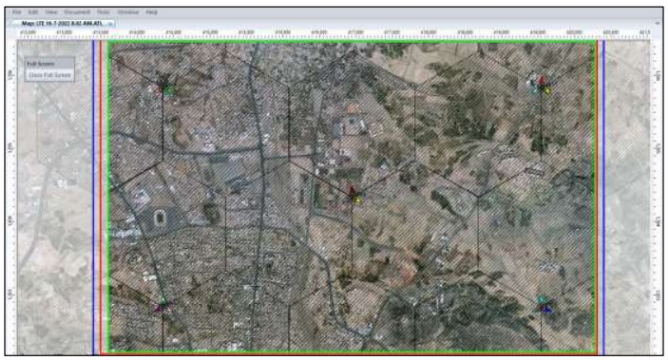


Рис. 2.4. Розподіл 5 сайтів

Радіус шестикутника та інші специфікації цього шаблону базової станції показані на рис.2.5.

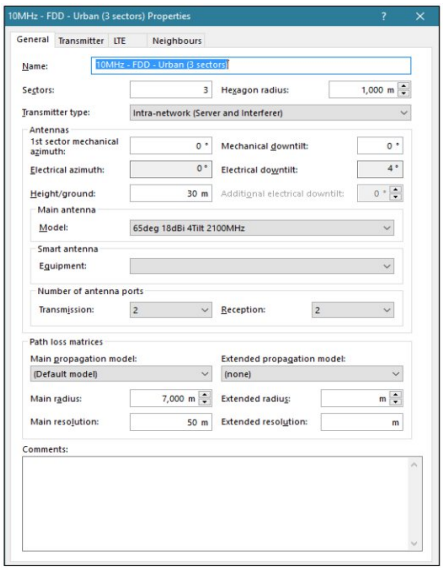


Рис. 2.5. Характеристики шаблону базової станції технології LTE

Використовуючи радіус шестикутника 1000 м, ми отримуємо відстань між ділянками 3000 м. Ми отримуємо цей результат за такою формулою:

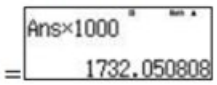
$$R_{site} = \sqrt{3} \times R_{sector} \tag{2.1}$$

$$DISTANCE_{site-to-site} = 3 \times R_{sector} = \sqrt{3} \times R_{site} \tag{2.2}$$

де R = радіус ділянки або сектора

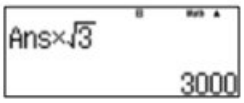
Тому ми можемо розрахувати його таким чином;

$$\sqrt{3} \times 1000$$



(2.3)

І оскільки ми маємо 3 сектори на кожному сайті, ми множимо цей результат на √3



(2.4)

Таким чином, відстань між сайтами = 3000м, і використовуючи функцію радіуса шестикутника в програмному забезпеченні Atoll, ми можемо отримати цей результат автоматично, і рис.2.6. помічено, що алгоритм Atoll дав нам подібний результат до тієї, яку було знайдено за допомогою формули.



Рис. 2.6. Відстань між ділянками від дільниці 1 до дільниці 3

Відстань від місця до місця становить 3000м від будь-якого місця до іншого в першій шині. Це можна помітити в іншому прикладі на рис.2.7.

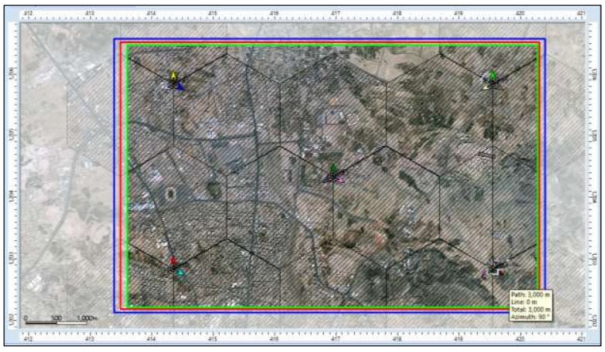


Рис. 2.7. Відстань між ділянками від дільниці 4 до дільниці 5

Щільність користувачів. Завдяки гнучкому розподілу ресурсів у часі, частоті та просторі, а також масштабованій смузі пропускання, що підтримується LTE, очікується, що принаймні 200 користувачів на комірку повинні підтримуватися в активному стані для смуги пропускання до 5 МГц і щонайменше 400 користувачів для вищої пропускної здатності. Очікується, що більше користувачів будуть підтримуватися в пасивному (сплячому) стані [20]. Крім того, відповідно до [21], пропускна здатність LTE збільшується, щоб включати

щонайменше 200 активних користувачів на комірку в смузі пропускання 5 МГц і щонайменше 400 активних користувачів у більшій смузі пропускання каналу. LTE дозволяє працювати з декількома антенами для одного та кількох користувачів за допомогою технології MIMO (до 4 рівнів у низхідній лінії зв'язку та 2 рівнів у висхідній лінії зв'язку), а також підтримує різні схеми модуляції та кодування. Автоматичний запит на повторення (ARQ) і гібридний ARQ реалізовані для підвищення надійності передачі даних. Розширена підтримка мобільності, ефективна послуга багатоадресної трансляції мультимедійного мовлення, надання QoS, безпека та ємність осередку до 200 активних користувачів узагальнюють ключові функції, які надають системи LTE [22].

Відповідно до всієї інформації, згаданої раніше, щільність користувачів визначається 200 активними користувачами на комірку, і оскільки ми маємо територію 29,47 км^2, і ця область має приблизно 12 розгорнутих комірок, тоді розділіть розмір області в км на кількість клітинок 12.

$$29.47 \div 12 = 2.45583\overline{3} \tag{2.5}$$

Це означає, що кожна комірка охоплює приблизно 2,456 км2, тоді ми множимо це значення на 200, тобто кількість активних користувачів на комірку.

$$Ans \times 200 = 491.1\overline{6} \tag{2.6}$$

Це означає, що встановлено значення щільності користувачів у програмному забезпеченні Atoll як 491 користувач на км^2. Це значення показано на рис.2.8.

	Id	Traffic Density (No. users/km^2)
	1	491
*		

Рис.2.8 Значення щільності користувачів на км2

2.3. Огляд технологічних вимог

Основними цільовими вимогами LTE є максимальна швидкість передачі даних у низхідній лінії зв’язку 100 Мбіт/с і максимальна швидкість передачі даних у висхідній лінії зв’язку 50 Мбіт/с. Інші основні вимоги включають затримку рівня користувача менше 5 мс і час встановлення виклику менше 50 мс. Однією з особливостей, які відрізняють LTE від своїх попередників, є вимога підтримувати масштабовану смугу пропускання від 5 до 20 МГц. Вимоги до взаємодії з користувачем мають бути оптимізовані для умов низької мобільності, тоді як відбуватиметься плавне погіршення якості обслуговування зі збільшенням мобільності користувача та збільшенням відстані від базової станції.

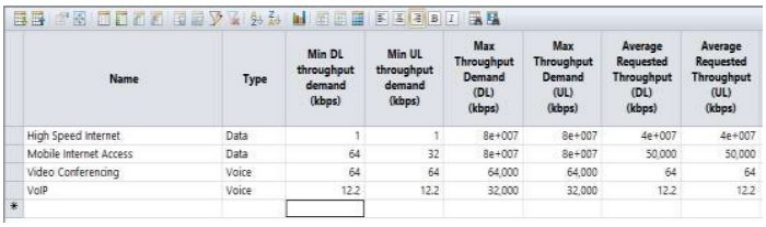
LTE-Advanced підтримує пікові швидкості передачі даних 1 Гбіт/с для низхідної лінії зв’язку та мінімум 100 Мбіт/с для висхідної лінії зв’язку. Однак цільова швидкість передачі даних висхідної лінії становить 500 Мбіт/с. Для затримок вимоги становлять 50 мс для режиму очікування до підключення та 10 мс для режиму очікування до підключення. Система буде оптимізована для 0-190 км/год [23].Відповідно до [24], вимоги до випусків LTE представлені в наступній табл.2.3.

Таблиця 2.3

Вимоги до LTE

		LTE(Rel.8)	IMT-Advanced	LTE-Advance (Rel.10)
Пікова швидкість передачі даних	DL	300 мбіт/с	1 гбіт (мала рухливість) 100мбіт (велика рухдивість)	1 гбіт/с
	UL	75 мбіт/с		500 мбіт/с
Ефективність пікового спектру (біт/с/Гц)	DL	15	15	30
	UL	3,75	6,75	15

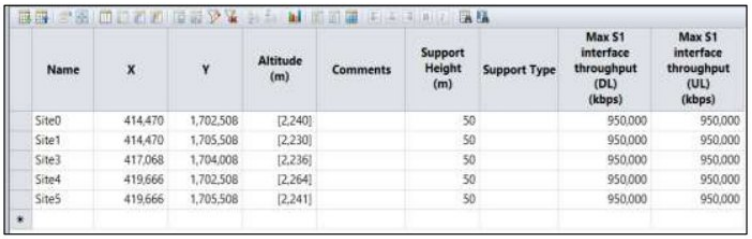
Відповідно до всієї інформації, зазначеної раніше, вимоги до технології LTE, які, як очікується, будуть досягнуті в поточному дослідженні, були встановлені в програмному забезпеченні, як показано на рис.2.9.



Name	Type	Min DL throughput demand (kbps)	Min UL throughput demand (kbps)	Max Throughput Demand (DL) (kbps)	Max Throughput Demand (UL) (kbps)	Average Requested Throughput (DL) (kbps)	Average Requested Throughput (UL) (kbps)
High Speed Internet	Data	1	1	8e+007	8e+007	4e+007	4e+007
Mobile Internet Access	Data	64	32	8e+007	8e+007	50,000	50,000
Video Conferencing	Voice	64	64	64,000	64,000	64	64
VoIP	Voice	12.2	12.2	32,000	32,000	12.2	12.2

Рис.2.9 Налаштування вимог до послуг LTE у таблиці послуг Atoll

Початкові налаштування сайтів. На рис.2.10 показані початкові налаштування сайтів.



Name	X	Y	Altitude (m)	Comments	Support Height (m)	Support Type	Max S1 interface throughput (DL) (kbps)	Max S1 interface throughput (UL) (kbps)
Site0	414,470	1,702,508	[2,240]		50		950,000	950,000
Site1	414,470	1,705,508	[2,230]		50		950,000	950,000
Site3	417,068	1,704,008	[2,236]		50		950,000	950,000
Site4	419,666	1,702,508	[2,264]		50		950,000	950,000
Site5	419,666	1,705,508	[2,241]		50		950,000	950,000

Рис.2.10 Початкові налаштування сайтів у дизайні LTE

Початкові налаштування передавачів. У табл.2.4 наведені початкові налаштування кожного передавача з 15 передавачів.

Таблиця 2.4

Початкові налаштування передавачів у виконанні LTE

Site	
Transmitter	
Active	TRUE
Transmitter Type	Intra-network (Server and Interferer)
Antena	100 deg 14 dBi 0Tilt Broadcast
DX(m)	0
DY(m)	0
Height (m)	25

Продовження таблиці 2.4

Початкові налаштування передавачів у виконанні LTE

Site	
Azimuth (^{0})	0
Mechanical Downtilt (^{0})	0
Additional Electrical (^{0})	0
Shared Antenna	
Shared pattern	
Smart Antenna Equipment	
Number of Transmission Antenna Ports	2
Number of Reception Antenna Ports	2
Transmitter Equipment	
TMA Equipment	
Feeder Equipment	
Transmission Feeder Length (m)	0
Reception Feeder Length (m)	0
Miscellaneous Transmission Losses (dB)	0
Miscellaneous Reception Losses (dB)	0
Transmission losses (dB)	0
Reception losses (dB)	0
Noise Figure (dB)	5
Main Propagation Model	(Default model)
Main Calculation Radius (m)	7,000
Main Resolution (m)	50
Extended Propagation Model	(none)
Extended Calculation Radius (m)	
Extended Resolution (m)	
Hexagon groups	
Hexagon radius (m)	1,000
Comments	

Початкові налаштування комірок. У табл.2.5 наведені початкові параметри кожної комірки з 15 комірок, що охоплюють область дослідження.

Таблиця 2.5

Початкові налаштування осередків у дизайні LTE

Transmitter	Site0_1
Name	Site0_1(0)
ID	
Active	TRUE
Order	
Layer	Macro Layer
Cell Type	1
Frequency Band	E-UTRA Band 1 -10MHz
Channel Number	50
Channel Allocation Status	Not Allocated
Physical Cell ID Domain	
Physical Cell ID	0
PSS ID	0
SSS ID	0
PSS ID status	Not Allocated
SSS ID status	Not Allocated
Reuse distance (m)	
Max Power (dBm)	43
RS EPRE per antenna port (dBm)	15,4
SS EPRE Offset / RS (dB)	
PBCH EPRE Offset / RS (dB)	
PDCCH EPRE Offset / RS (dB)	0
PDSCH EPRE Offset / RS (dB)	0
Min RSRP (dBm)	-140
Cell Selection Threshold (dB)	0
Cell Individual Offset (dB)	0
Handover Margin (dB)	0
ICIC Delta Path Loss Threshold (dB)	0
Fractional Power Control Factor	1
Max Noise Rise (UL) (dB)	6
Max PUSCH C/(I+N) (dB)	20
Interference Coordination Support	0
Frame configuration	
TDD subframe configuration	
Almost Blank Subframe (ABS) Pattern	
Reception Equipment	Default Cell Equipment
Scheduler	Proportional Fair
Diversity Support (DL)	Transmit Diversity;SUMIMO
Diversity Support (UL)	3
Number of co-scheduled MU-MIMO users (DL)	2
Number of co-scheduled MU-MIMO users (UL)	2
Traffic Load (DL) (%)	100
Traffic Load (UL) (%)	100
UL Noise Rise (dB)	0
Max Traffic Load (DL) (%)	100

Продовження таблиці 2.5

Початкові налаштування осередків у дизайні LTE

Max Traffic Load (UL) (%)	100
Cell-edge Traffic Ratio (DL) (%)	0
ICIC Noise Rise (UL) (dB)	0
Inter-technology DL Noise Rise (dB)	0
Inter-technology UL Noise Rise (dB)	0
Noise Rise (dB) 0	0
AAS Usage (DL) (%)	0
Angular distributions of interference (AAS)	10
Number of Users (DL)	1
Number of Users (UL)	1
Max Number of Users	
Max number of intra-technology neighbours	16
Max number of inter-technology neighbours	16
Comments	
Number of Required PRACH RSI	1
PRACH Root Sequences	
PRACH RSI Allocation Status	Not Allocated

Початкові налаштування служб. На рис.2.11 показано початкові налаштування послуг, доступних у LTE-дизайні.

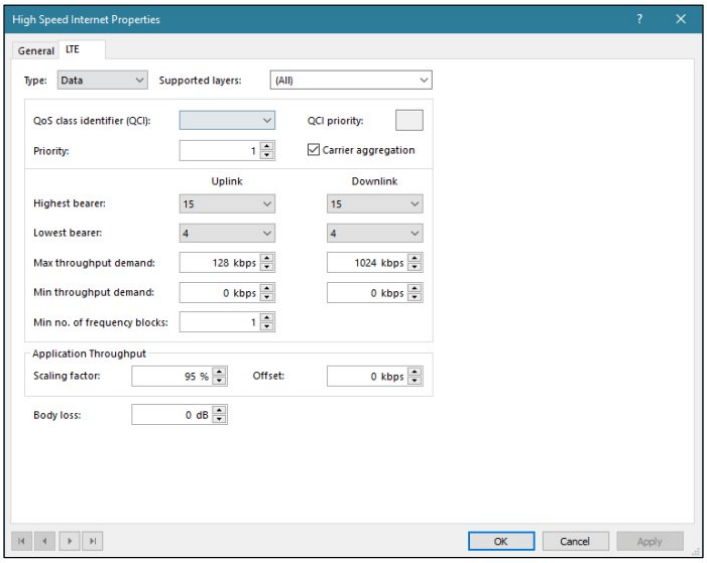


Рис. 2.11. Початкові налаштування послуги високошвидкісного Інтернету LTE

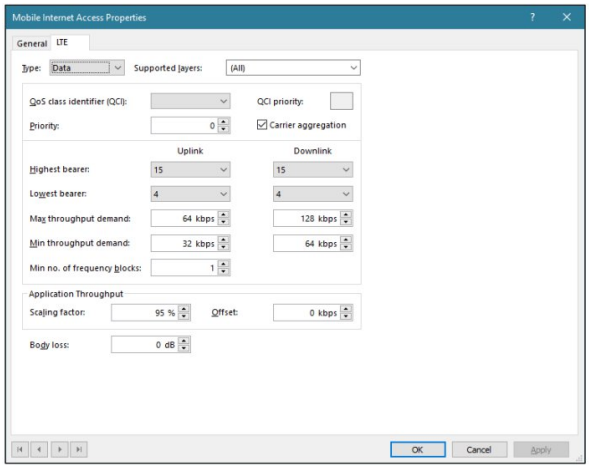


Рис. 2.12. Початкові налаштування послуги мобільного доступу до Інтернету LTE

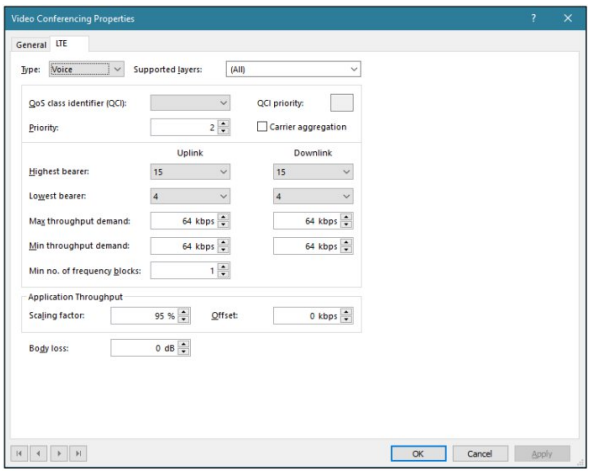


Рис. 2.13. Початкові налаштування служби відеоконференцзв’язку LTE

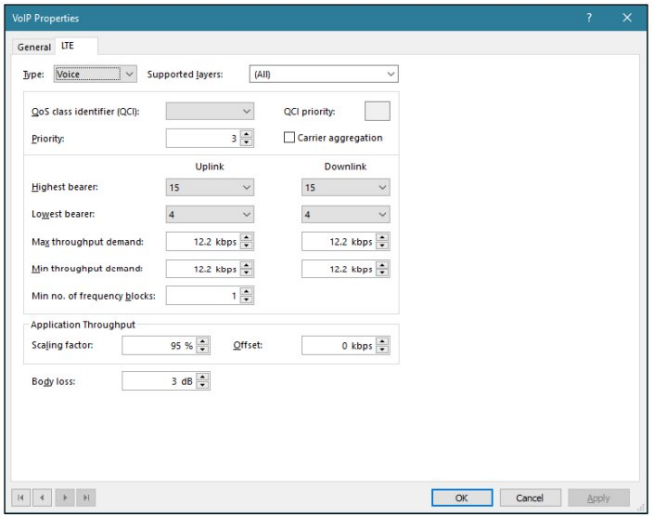


Рис. 2.14. Початкові налаштування лише голосової послуги LTE

Початкові налаштування мобільності. У наведеній табл.2.6 показано початкові налаштування типів мобільності, доступних у дизайні LTE.

Таблиця 2.6.

Початкові налаштування мобільності в дизайні LTE

Ім’я	Середня швидкість (км/год)
50 км/год	50
90 км/год	90
Виправлено	0
Пішохідний	3

Початкові налаштування терміналів. На наступних рисунках показано початкові налаштування терміналів, доступних у конструкції LTE

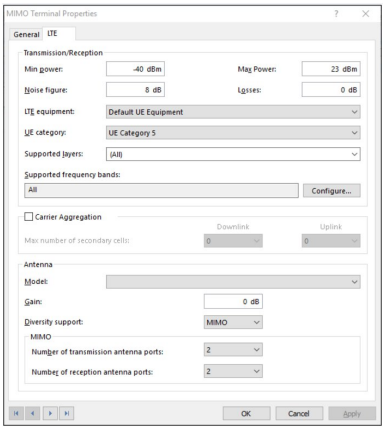


Рис.2.15 Початкові налаштування терміналу MIMO в дизайні LTE

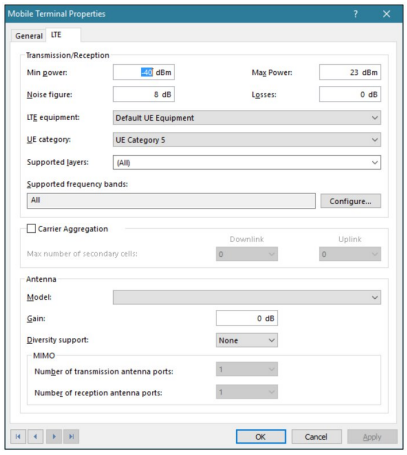


Рис.2.16 Початкові налаштування мобільного терміналу в дизайні LTE

Початкові налаштування профілів користувачів. У табл.2.8 і табл.2.9 показано початкові параметри профілів користувачів, доступних у дизайні LTE

Таблиця 2.8

Початкові налаштування профілю бізнес-користувача в дизайні LTE

Сервіс	Термінал	Дзвінки/год	Тривалість (сек.)	UL Обсяг (Кбайт)	DL Обсяг (Кбайт)
Високошвидкісний Інтернет	MIMO термінал	0,05		2,000	15,000
Відеоконференції	MIMO термінал	0,01	600		
VoIP	MIMO термінал	0,2	240		
Мобільний доступ до Інтернету	MIMO термінал	0,1		700	4,500

Таблиця 2.9

Початкові налаштування профілю стандартного користувача в дизайні LTE

Сервіс	Термінал	Дзвінки/год	Тривалість (сек.)	UL Обсяг (Кбайт)	DL Обсяг (Кбайт)
Мобільний доступ до Інтернету	MIMO термінал	0,1		700	4,500
VoIP	MIMO термінал	0,2	240		

2.4. Прогнози та моделювання до встановлених початкових налаштувань

Покриття передавача (DL). На рис.2.17 показано результат прогнозування покриття передавача (DL) у технології LTE.



Рис. 2.17. Результат прогнозування покриття передавача (DL) в LTE технології

Покриття за рівнем сигналу (DL). На наступних рисунках показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за рівнем сигналу (DL) у технології LTE.



Рис.2.18. Результат прогнозування покриття за рівнем сигналу (DL) у технології LTE

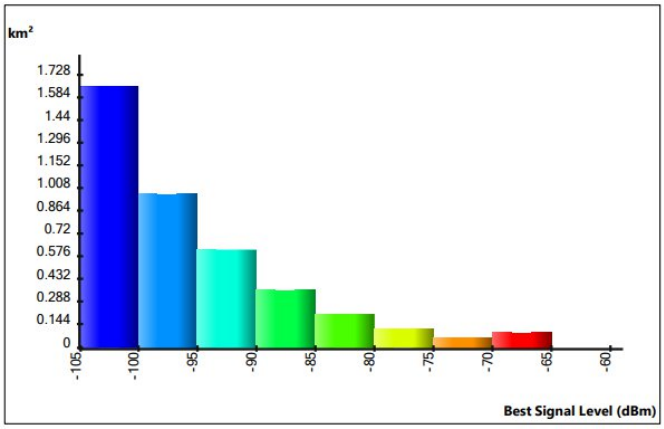


Рис. 2.19. Гістограма прогнозування покриття за рівнем сигналу (DL) у технології LTE

Зони, що перекриваються (DL). На наступних рисунках показано карту та результати прогнозування гістограми зон перекриття (DL) у технології LTE.

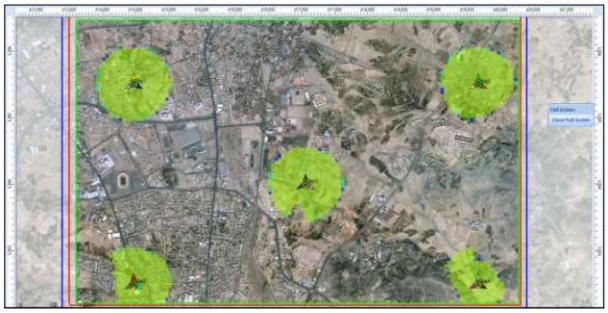


Рис. 2.20. Результат прогнозування зон перекриття (DL) в LTE технології

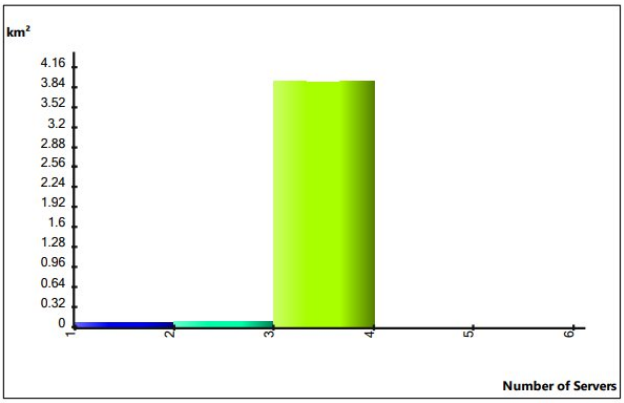


Рис. 2.21. Гістограма прогнозування зон перекриття (DL) у технології LTE

Ефективний аналіз сигналу (DL). На наступних зображеннях показано карту та результати прогнозування гістограми ефективного аналізу сигналу (DL) у технології LTE.



Рис. 2.22. Результат прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) у технології LTE

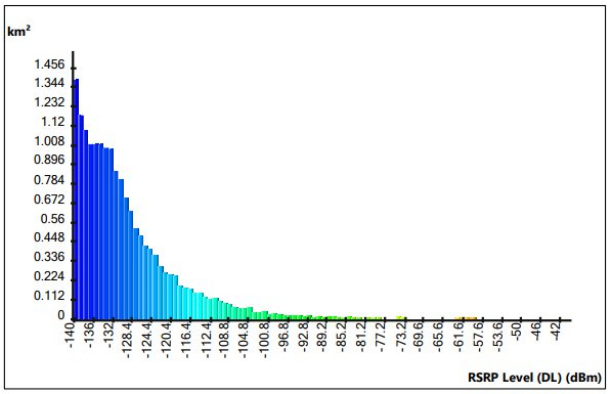


Рис. 2.23. Гістограма прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) у технології LTE

Ефективний аналіз сигналу (UL). На наступних рисунках показано карту та результати прогнозування гістограми ефективного аналізу сигналу (UL) у технології LTE.



Рис.2.24 Результат прогнозування ефективного аналізу сигналу (UL) у технології LTE

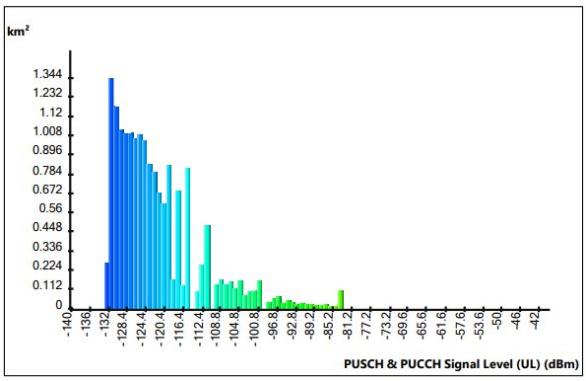


Рис. 2.25. Гістограма прогнозування ефективного аналізу сигналу (UL) у технології LTE

Покриття за рівнем C/(I+N) (DL). На рисунках, наведених нижче, показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за рівнем C/(I+N) (DL) у технології LTE.

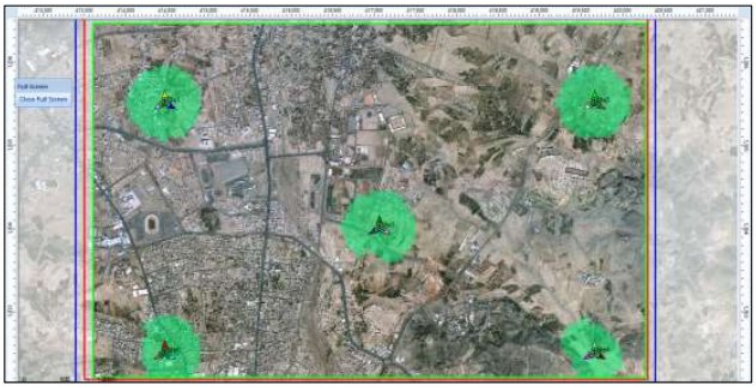


Рис. 2.26. Результат прогнозування покриття за рівнем C/(I+N) (DL) у технології LTE

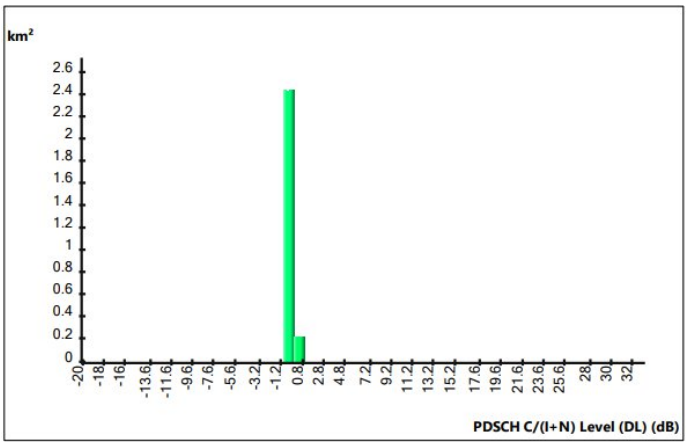


Рис. 2.27. Гістограма прогнозу покриття за рівнем C/(I+N) (DL) у технології LTE

Покриття за рівнем C/(I+N) (UL). На наступних рисунках показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за рівнем C/(I+N) (UL) у технології LTE.

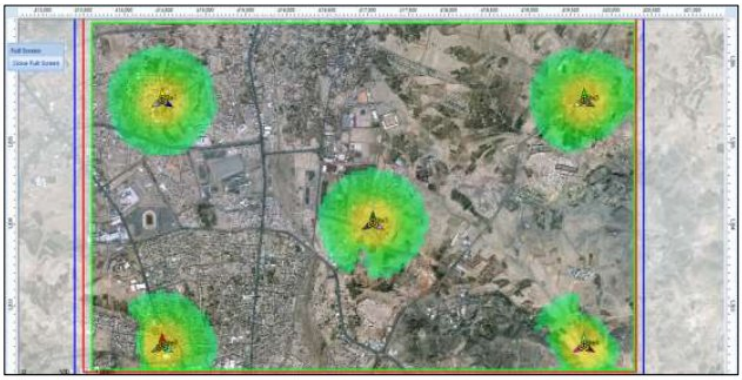


Рис. 2.28. Результат прогнозування покриття за рівнем C/(I+N) (UL) у технології LTE

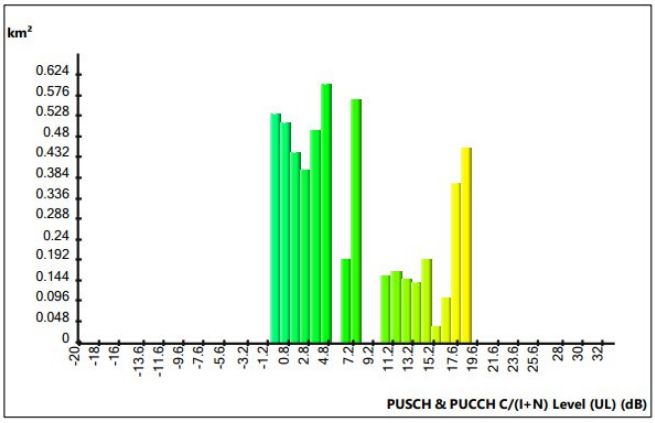


Рис. 2.29. Прогнозована гістограма покриття за рівнем покриття C/(I+N) (UL) у технології LTE

Ефективний аналіз зони обслуговування (DL+UL). На рис.3.30 показано результат прогнозування ефективного аналізу зони обслуговування (DL+UL) у технології LTE.

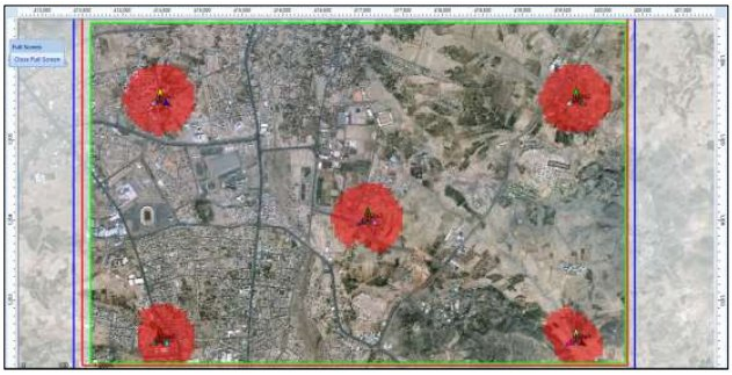


Рис. 2.30. Результат прогнозу ефективного аналізу зони обслуговування (DL+UL) у технології LTE

Покриття за пропускною здатністю (DL). На наступних рисунках показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за пропускною здатністю (DL) у технології LTE;

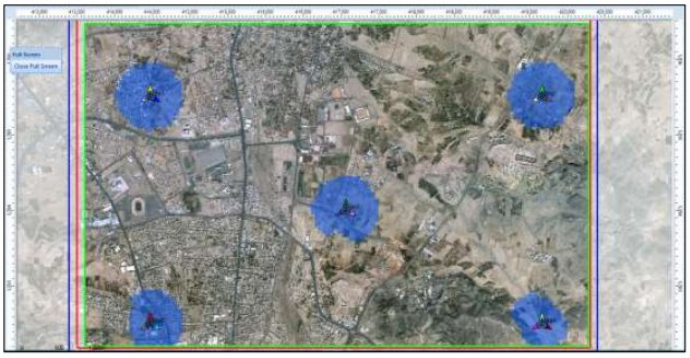


Рис. 2.31. Результат прогнозування покриття за пропускною здатністю (DL) у технології LTE

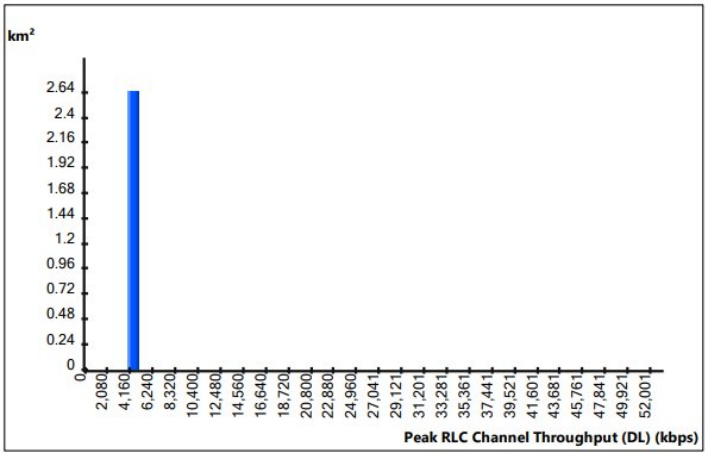


Рис. 2.32. Гістограма прогнозування покриття за пропускною здатністю (DL) у технології LTE

Покриття за пропускною здатністю (UL). На наступних рисунках зображено карту та результати прогнозування гістограми покриття за пропускною здатністю (UL) у технології LTE.

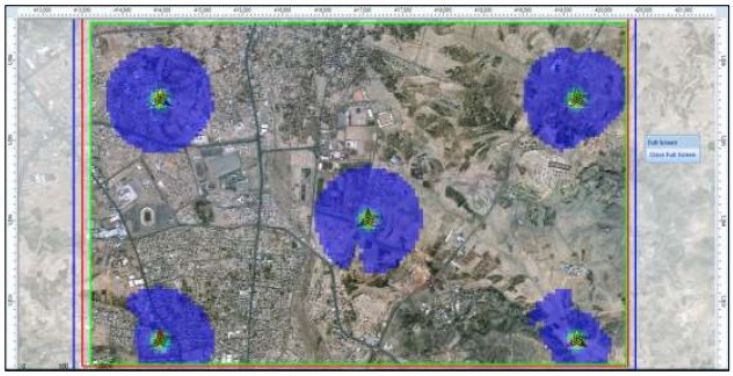


Рис. 2.33. Результат прогнозування покриття за пропускною здатністю (UL)

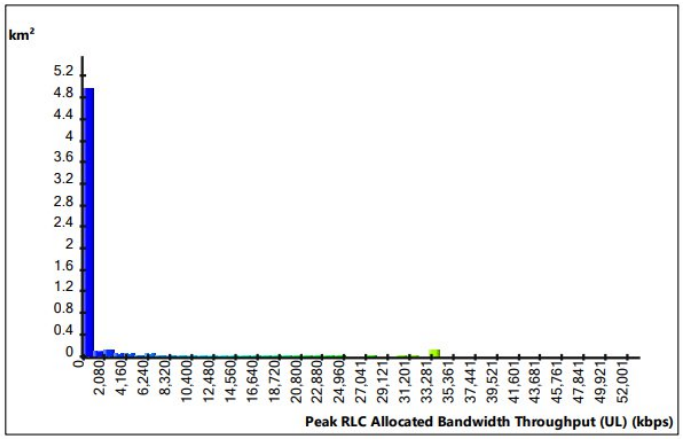


Рис. 2.34. Гістограма прогнозування покриття за пропускною здатністю

Покриття за показником якості (DL). На наступних рисунках показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за показником якості (DL) у технології LTE.

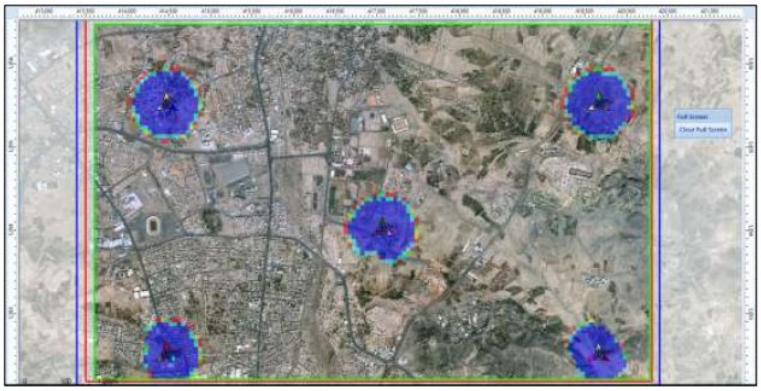


Рис.2.35 Результат прогнозування покриття за показником якості (DL)

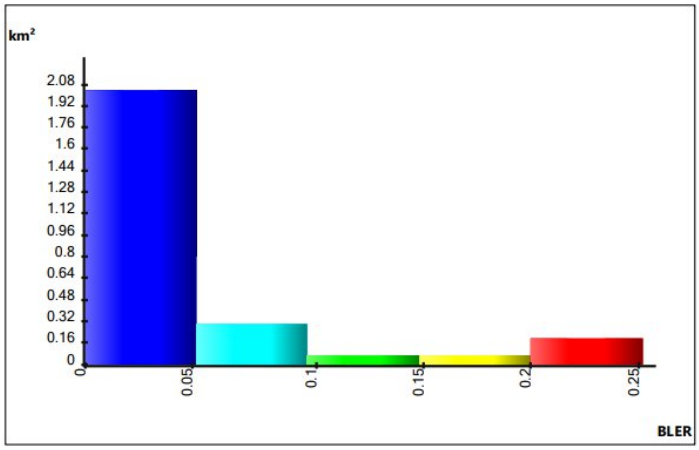


Рис. 2.36. Гістограма прогнозування покриття за показником якості (DL)

Покриття за показником якості (UL). На рисунках нижче показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за показником якості (UL) у технології LTE.

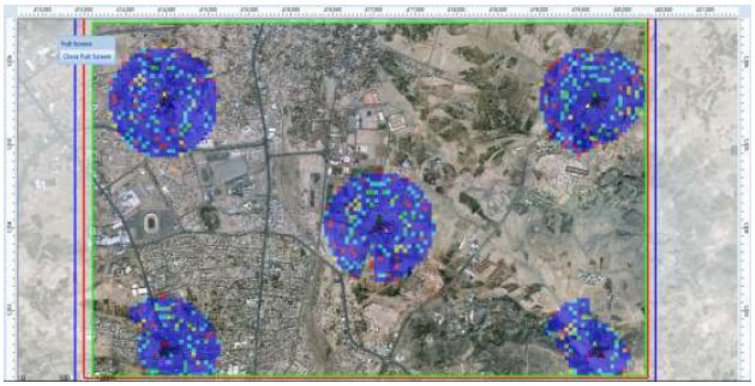


Рис.2.37 Результат прогнозування покриття за показником якості (UL)

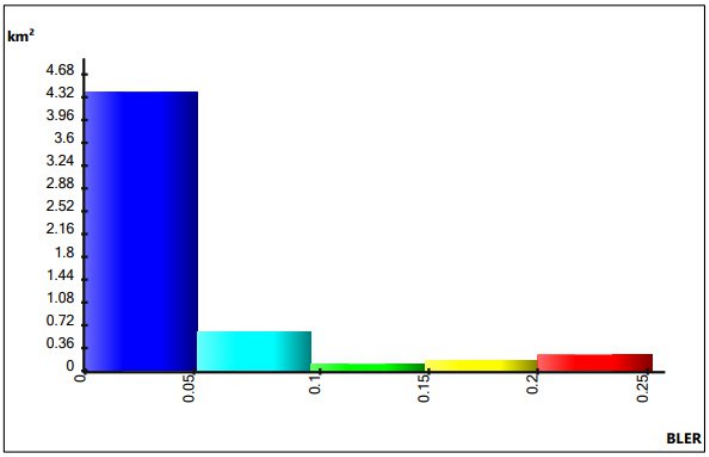


Рис. 2.38. Гістограма прогнозування покриття за показником якості (UL)

Зони зіткнення ідентифікатора комірки (DL). На рис.2.39 показано результат прогнозування зон зіткнення ідентифікатора клітинки (DL) у технології LTE.

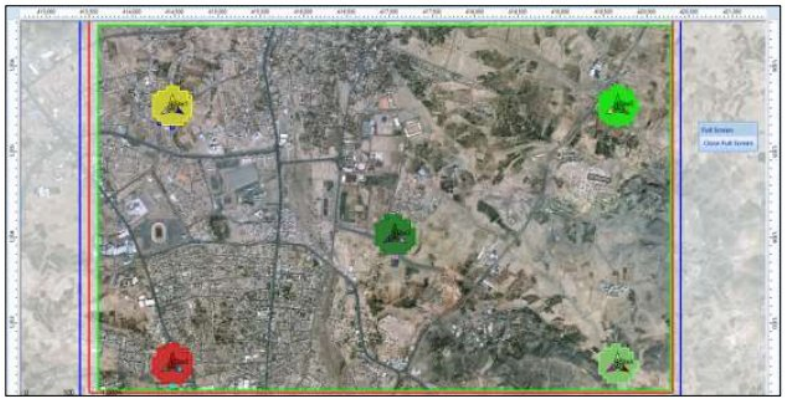


Рис. 2.39. Результат прогнозування зон зіткнення ідентифікатора клітинки (DL)

Початкові вимоги та результати моделювання. На рис.2.40 показано початкові вимоги до моделювання та результати технології LTE.

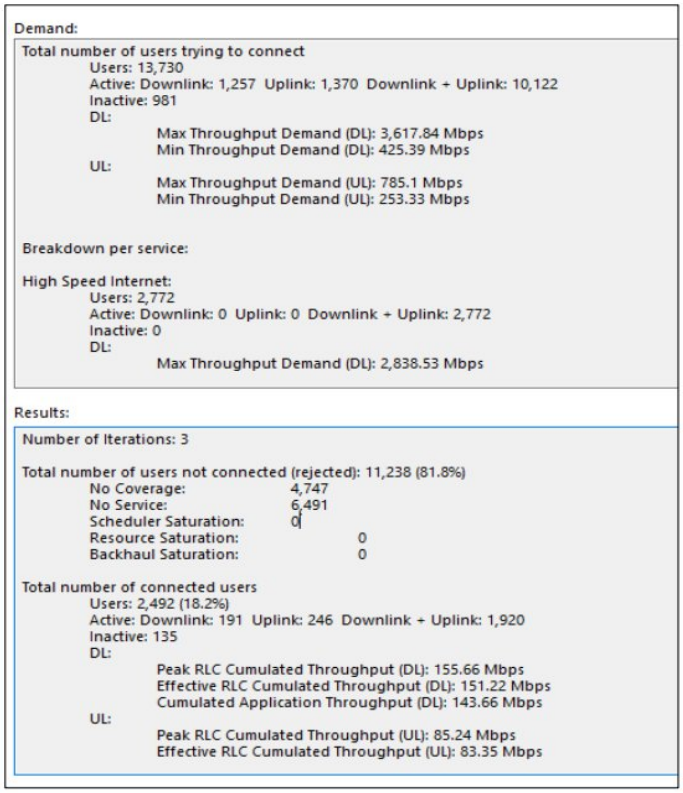


Рис. 2.40. Початкові вимоги до моделювання та результати технології LTE

3. ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ПЛАНУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

3.1. Процедура оптимізації планування мережі LTE

У даному розділі представлено процедуру оптимізації, яку було виконано в поточному дослідженні шляхом серії змін і модифікацій, які зрештою призвели до кращих результатів. Кожна модифікація, яка призвела до помітного вдосконалення, пояснюється та супроводжується знімком екрана нової симуляції, яка є результатом попередньої модифікації. Іноді після деяких змін результат погіршується; отже, модифікація в цьому випадку відхиляється, і приймається інша модифікація для отримання оптимальної продуктивності.

Збільшення висоти передавача. Збільшення висоти передавача призвело до значного покращення результатів. Кожен із 15 передавачів отримав нове значення висоти. Значення висоти встановили 40 м. Це значення означає висоту антени над землею. Це додається до висоти над рівнем моря. Якщо віддалена антена розташована на будівлі, введена висота має включати висоту будівлі.

На рис.3.1 показано нове значення, яке було встановлено для всіх передавачів;



Рис. 3.1. Встановлення висоти передавача на 40 м у конструкції LTE

На рис.3.2 показано результат, який було отримано завдяки згаданій раніше модифікації, яка призвела до оптимізації продуктивності.

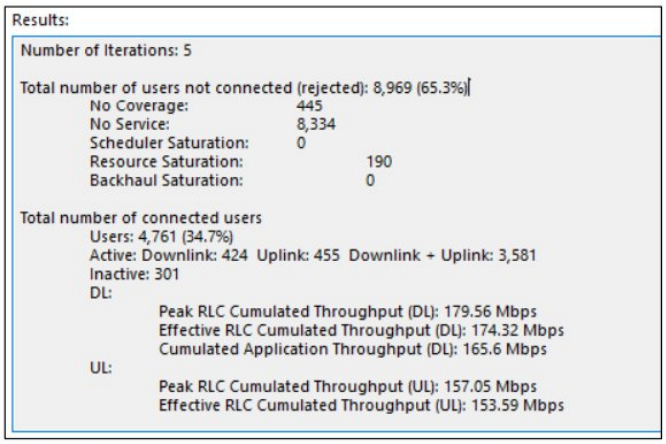


Рис. 3.2. Результати моделювання після збільшення висоти передавача до 40 м

Помічено, що відбувається оптимізація результатів моделювання за рахунок збільшення висоти передавачів. Відсоток підключених користувачів зріс з 18,2% до 34,7%, а це означає, що є оптимізація на 16,5% загальної продуктивності.

Зміна типу антени. Після багатьох тестів виявлено, що необхідно змінити тип використовуваної антени у властивостях передавача (65 градусів, 17 дБі, 8 нахилів, 700/800 МГц). Ця зміна призвела до значного покращення результатів, отриманих після зміни. На рис.3.3 показано нові налаштування типу антени в таблиці передавачів.

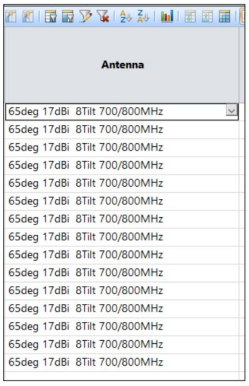


Рис. 3.3. Налаштування типу антени передавача

На рис.3.4 показано результат, який було отримано завдяки згаданій раніше модифікації, яка призвела до оптимізації продуктивності.

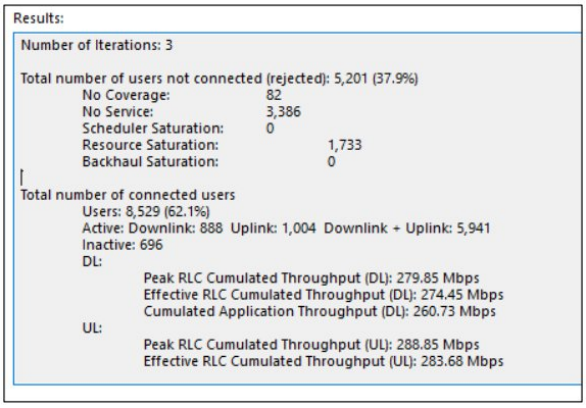


Рис. 3.4. Результати моделювання після зміни типу антени

Помічено, що відбувається оптимізація результатів моделювання за рахунок зміни типу антени. Відсоток підключених користувачів зріс з 34,7% до 62,1%, а це означає, що є оптимізація на 27,4% загальної продуктивності.

Збільшення ліміту максимальної потужності. Після багатьох тестів з'ясовано, що необхідно збільшити межу максимальної потужності в кожній клітинці. Збільшення максимальної потужності до 50 дБм призвело до значного покращення результатів, отриманих після збільшення значення максимальної потужності в таблиці комірок. Це значення в основному є максимальною потужністю передачі клітинки. На рис.3.5 показано нові налаштування максимальної потужності в таблиці комірок.

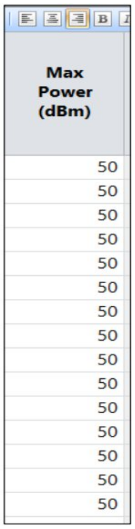


Рис. 3.5. встановлення нових значень максимальної потужності

На рис.3.6 показано результат, який було отримано завдяки згаданій раніше модифікації, яка призвела до оптимізації продуктивності.

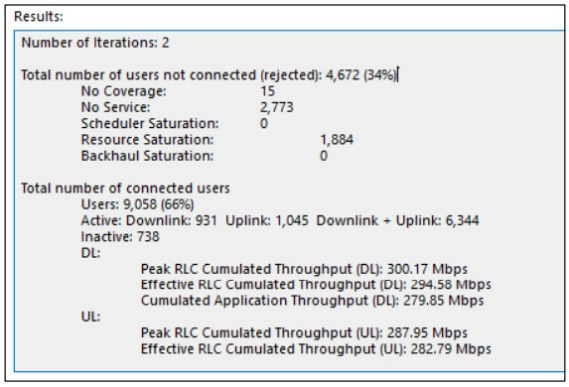


Рис.3.6. Результати моделювання після збільшення максимальної потужності комірок

Помічено, що відбувається оптимізація результатів моделювання за рахунок збільшення максимальної потужності комірок. Відсоток підключених користувачів зріс з 62,1% до 66%, а це означає, що є оптимізація на 3,9% загальної продуктивності.

Зміна терміналів користувача. Після дослідження виявилося, що необхідно внести деякі модифікації в термінали UE. На рис.3.7 показано нові налаштування буксирних клем.

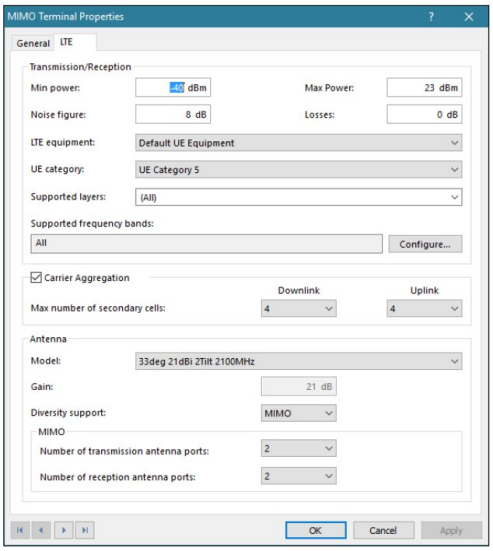


Рис. 3.7. Змінені налаштування терміналу MIMO в дизайні LTE

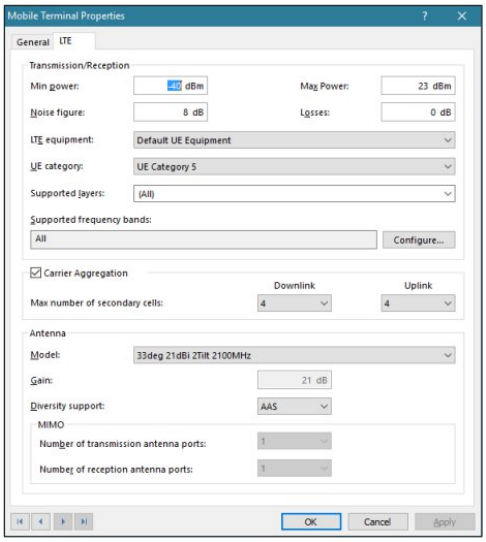


Рис. 3.8. Змінені налаштування мобільного терміналу в дизайні LTE

На рис.3.9 показано результат, який було отримано завдяки згаданій раніше модифікації, яка призвела до оптимізації продуктивності.

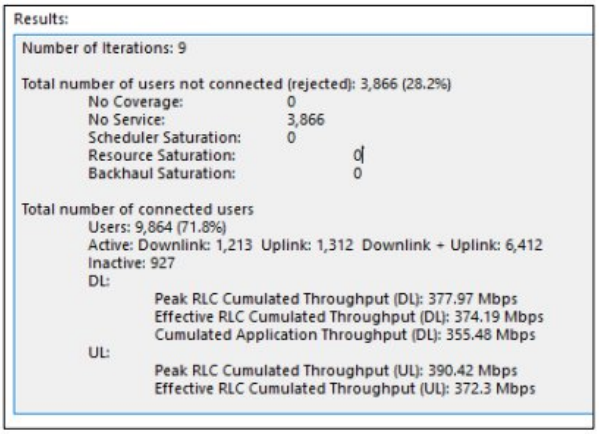
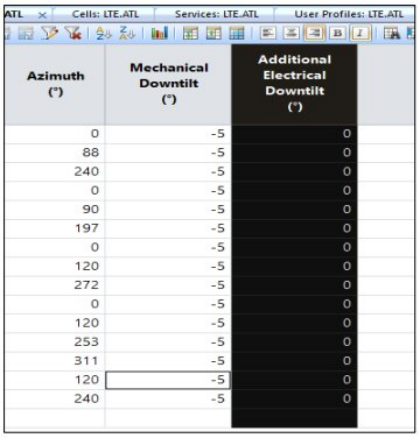


Рис. 3.9. Результати моделювання після модифікації терміналів UE

Помічено, що відбувається оптимізація результатів моделювання за рахунок збільшення максимальної потужності комірок. Відсоток підключених користувачів збільшився з 66% до 71,8%, а це означає, що є оптимізація на 5,8% загальної продуктивності.

Зміна кута азимута та механічного нахилу вниз передавачів. Після досліджень було виявлено, що необхідно внести деякі зміни в кут азимута та механічний нахил передавачів. Зміна кута азимута ґрунтувалася на спостереженні

на карті за результатами прогнозування рівня сигналу. Деякі передавачі були змінені під новими кутами, щоб покривати області з низьким рівнем сигналу, і з тією ж метою механічний нахил вниз було змінено з 0 до -5 о. Це дозволило більшій кількості користувачів отримати кращий рівень сигналу, а це означає, що вони отримали можливість використовуйте більші свердловини з кращою схемою модуляції та швидкістю кодування, і це дозволило ефективно використовувати різні служби. На рис.3.10 показано нові налаштування кута азимута та механічного нахилу вниз;



Azimuth (°)	Mechanical Downtilt (°)	Additional Electrical Downtilt (°)
0	-5	0
88	-5	0
240	-5	0
0	-5	0
90	-5	0
197	-5	0
0	-5	0
120	-5	0
272	-5	0
0	-5	0
120	-5	0
253	-5	0
311	-5	0
120	-5	0
240	-5	0

Рис. 3.10. Змінені налаштування кута азимута та механічного нахилу вниз передавачів

На рис.3.11 показано досліджувану ділянку з результатами прогнозування рівня сигналу після зміни азимутального кута та механічного нахилу передавачів вниз;

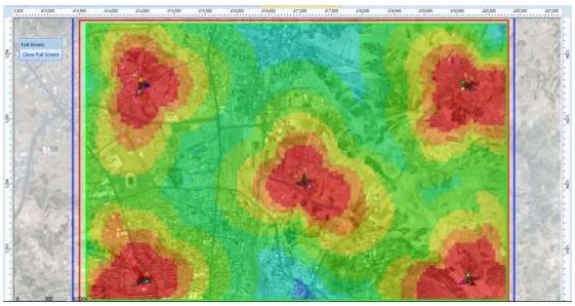


Рис.3.11 досліджувана зона з результатами прогнозу рівня сигналу після зміни азимутального кута та механічного нахилу передавачів

На рис.3.12 показано результат, який було отримано завдяки згаданій раніше модифікації, яка призвела до оптимізації продуктивності.

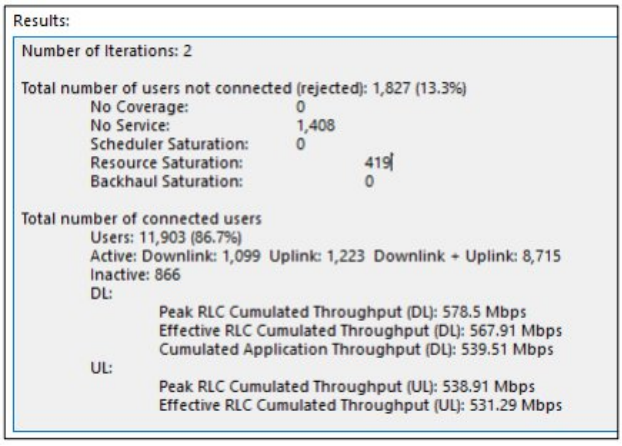


Рис. 3.12. Результати моделювання після модифікації кута азимута та механічного нахилу вниз передавачів у конструкції LTE

Помічено, що відбувається оптимізація результатів моделювання за рахунок збільшення максимальної потужності комірок. Відсоток підключених користувачів збільшився з 71,8% до 86,7%, а це означає, що є оптимізація на 14,9% загальної продуктивності.

Зміна діапазону частот і кількості спільно запланованих MU-MIMO. Після досліджень було з’ясовано, що необхідно внести деякі зміни в діапазон частот і кількість спільно запланованих MU-MIMO. Зміна діапазону частот ґрунтувалася на тому, що спостерігалося на діапазонах частот, указаних в окремій таблиці в програмному забезпеченні. Кількість спільно запланованих MU-MIMO відноситься до середньої кількості користувачів MUMIMO, які спільно використовують ті самі ресурси по низхідній і висхідній лінії зв’язку. У прогнозах покриття пропускної здатності низхідної лінії зв’язку ємність стільника помножується на цей приріст пікселів, де використовується MU-MIMO. На рис.3.13 показано нові налаштування частотного діапазону та кількості спільно запланованих MU-MIMO.

Frequency Band	Number of co-scheduled MU-MIMO users (DL)	Number of co-scheduled MU-MIMO users (UL)
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5
E-UTRA Band 1 - 20MHz	5	5

Рис. 3.13. Змінені налаштування діапазону частот і кількості спільно запланованих MU-MIMO

На рис.3.14 показано результат, який було отримано завдяки згаданій раніше модифікації, яка призвела до оптимізації продуктивності;

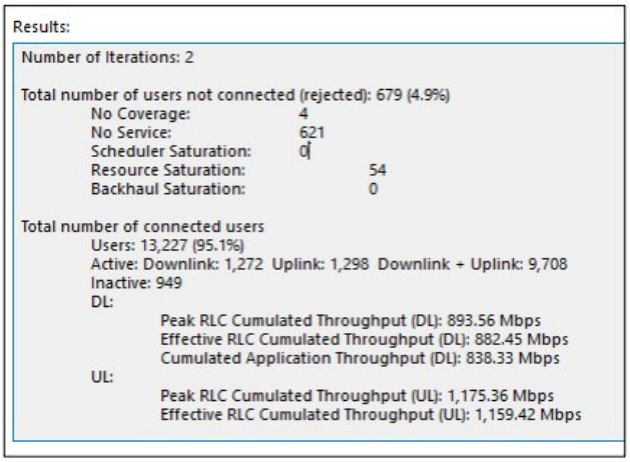


Рис. 3.14. Результати моделювання після модифікації смуги частот і кількості спільно запланованих MU-MIMO в дизайні LTE

Помічено, що відбувається оптимізація результатів моделювання за рахунок збільшення максимальної потужності комірок. Відсоток підключених користувачів збільшився з 86,7% до 95,1%, а це означає, що є оптимізація на 8,4% загальної продуктивності. Цей результат є певною мірою прийнятним у практичному середовищі, і було виявлено, що надто складно йти далі та отримувати кращі

результати незалежно від того, скільки інших змін зроблено, тому ми зупиняємося на досягнутому рівні оптимізації.

3.2. Результати планування мереж стільникового із застосуванням розглянутих процедур оптимізації

Покриття передавача (DL). На наступних рисунках показано результат прогнозування покриття передавача (DL) у технології LTE. Рис.3.15 показує результати до процесу оптимізації, який було зроблено та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.16 показує результати після оптимізації.



Рис.3.15 результат прогнозування покриття передавача (DL) до оптимізації

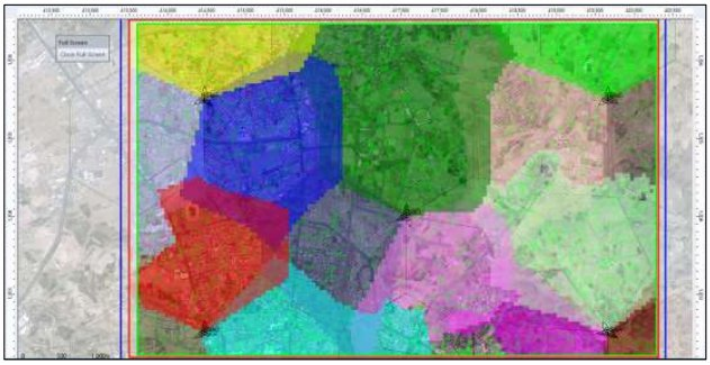


Рис.3.16 Результат прогнозування покриття передавача (DL) після оптимізації

З попередніх цифр видно, що є збільшення терміну покриття передавача. Кожен передавач став здатний покривати більшу територію.

Вся досліджувана територія була добре покрита передавачами.

Покриття за рівнем сигналу (DL). На наступних рисунках показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за рівнем сигналу (DL) у технології LTE. Перше зображення показує результати до процесу оптимізації, яке було виконано та пояснено в попередньому розділі, а друге зображення показує результати після оптимізація.



Рис. 3.17. Результат прогнозування покриття за рівнем сигналу (DL) до оптимізації

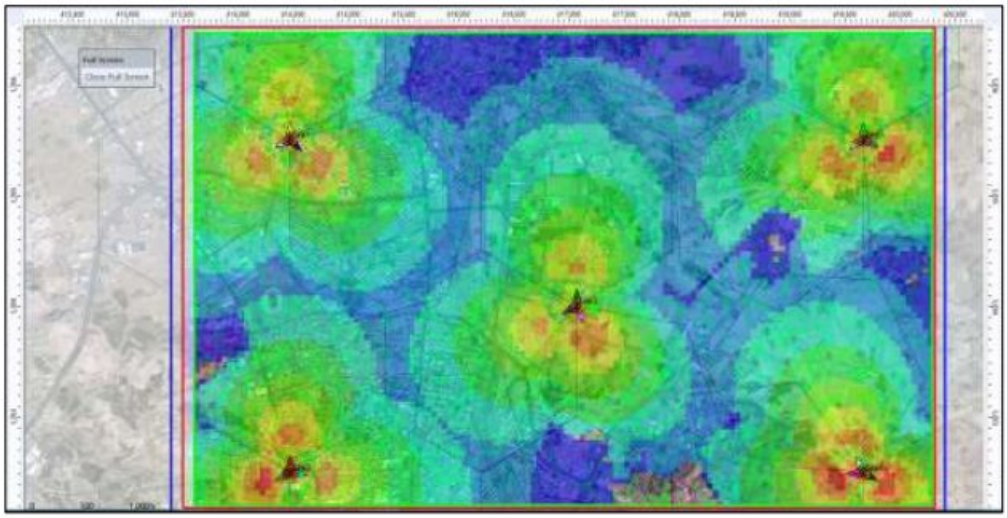


Рис. 3.18. Результат прогнозування покриття за рівнем сигналу (DL) після оптимізації

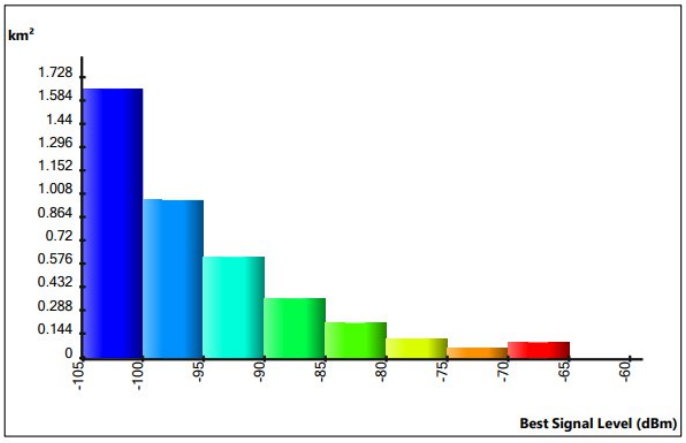


Рис. 3.19. Прогнозована гістограма покриття за рівнем сигналу (DL) до оптимізації

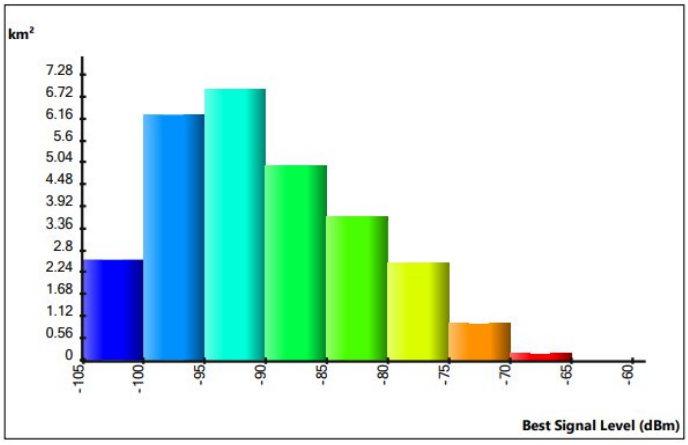


Рис.3.20 Прогнозована гістограма покриття за рівнем сигналу (DL) після оптимізації

З попередніх зображень видно, що спостерігається підвищення рівня сигналу (DL). Хороший рівень сигналу, наприклад; -85, -90 і -95 стали доступними в більш широкому асортименті. До оптимізації вони були доступні на короткому діапазоні менше 1 км2, але після оптимізації вони стали доступними на широкому діапазоні понад 4 км2.

Зони, що перекриваються (DL). На наступних рисунках показані результати прогнозування карти та гістограми зон перекриття (DL) у технології LTE. Перший малюнок показує результати до процесу оптимізації, який було виконано та пояснено в попередньому розділі, а другий малюнок показує результати після оптимізації. Рис.3.21 показує результати до процесу оптимізації,

який було зроблено та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.22 показує результати після оптимізації.

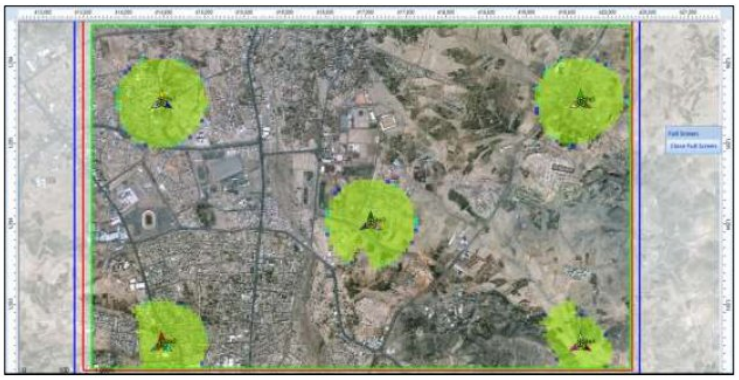


Рис. 3.21. Прогнозована гістограма покриття за рівнем сигналу (DL) до оптимізації

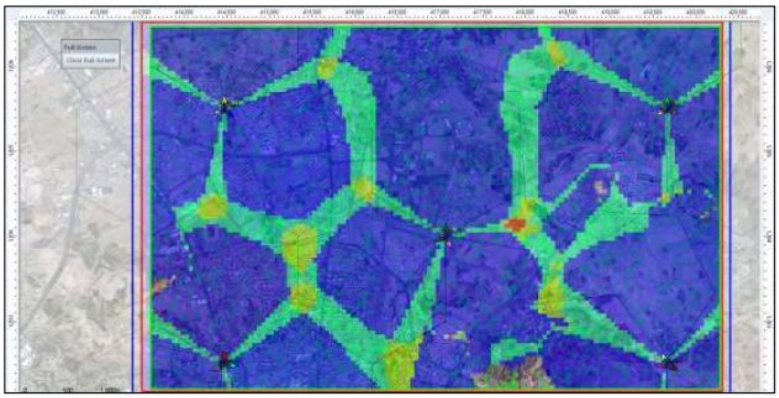


Рис.3.22 Результат прогнозування зон перекриття (DL) після оптимізації

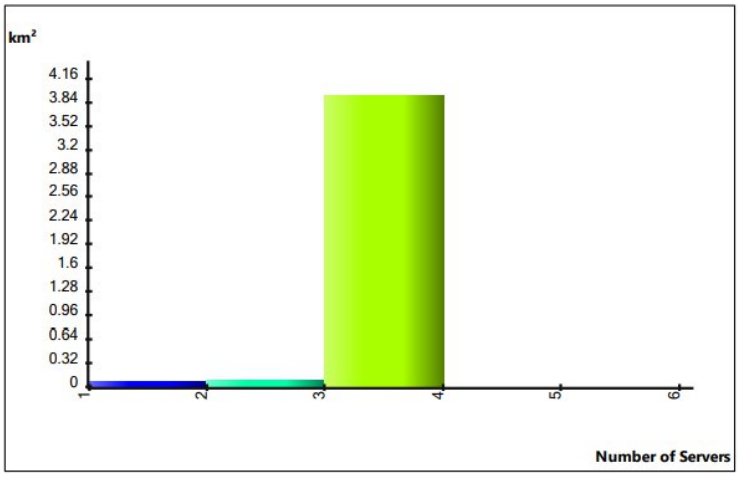


Рис. 3.23. Гістограма прогнозування зон перекриття (DL) до оптимізації

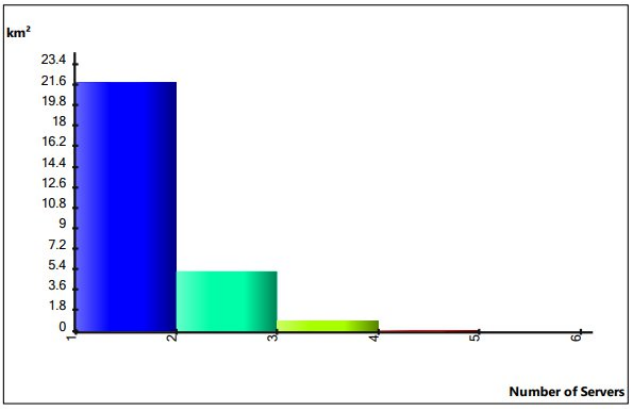


Рис. 3.24. Гістограма прогнозування зон перекриття (DL) після оптимізації

На попередніх рисунках видно, що є покращення терміну зон перекриття (DL). Темно-синій колір гістограми показує, що більшість ділянок досліджуваної території охоплює лише один передавач, на відміну від попередніх гістограм, де показана жовта смуга гістограми, а це означає, що три передавачі, які встановлені на базовій станції перекриваються на невеликій території навколо кожної базової станції, тоді як інші частини не покриваються.

Ефективний аналіз сигналу (DL). На наступних рисунках показано карту та результати прогнозування гістограми ефективного аналізу сигналу (DL) у технології LTE. Рис.3.25 показує результати до процесу оптимізації, який було виконано та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.26 показує результати після оптимізації.



Рис. 3.25. Результат прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) до оптимізації

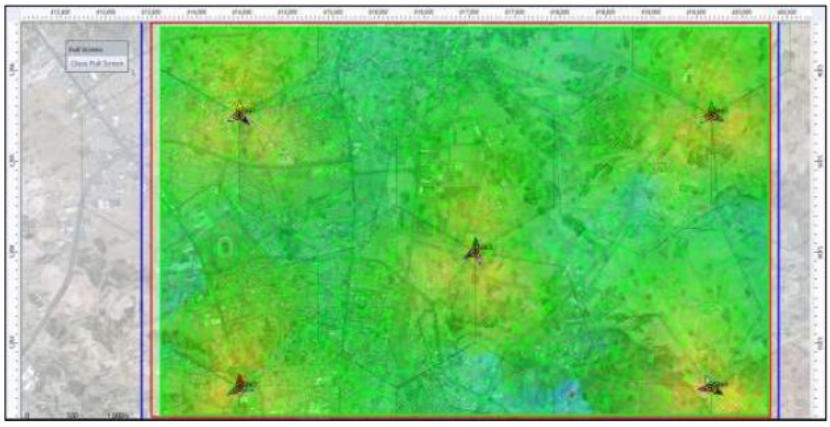


Рис. 3.26. Результат прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) після оптимізації

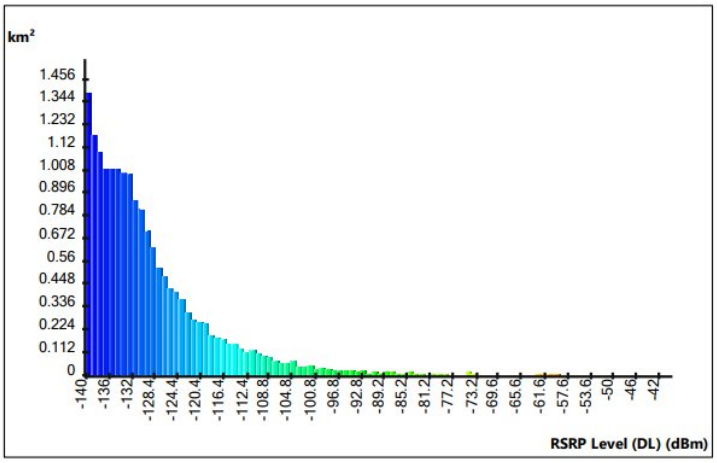


Рис. 3.27. Гістограма прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) до оптимізації

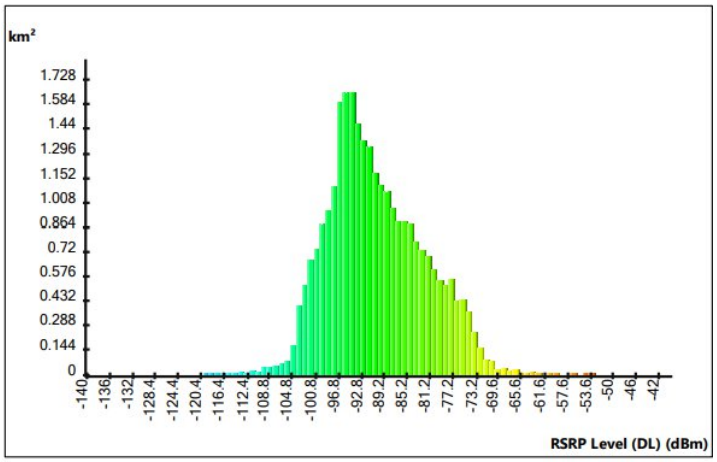


Рис. 3.28. Гістограма прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) після оптимізації

На попередніх рисунках видно, що є покращення в терміні ефективного аналізу сигналу (DL). Рівні RSRP (отримана потужність опорного сигналу) хороші. Рівні близько -85 і -95 дБм є сильними і охоплюють великі території понад 1,4 км2. Хоча такі значення були недоступні в діапазоні більше ніж 100 м до оптимізації.

Ефективний аналіз сигналу (UL). На наступних рисунках показано карту та результати прогнозування гістограми ефективного аналізу сигналу (UL) у технології LTE. Рис.3.29 показує результати до процесу оптимізації, який було зроблено та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.30 показує результати після оптимізації;

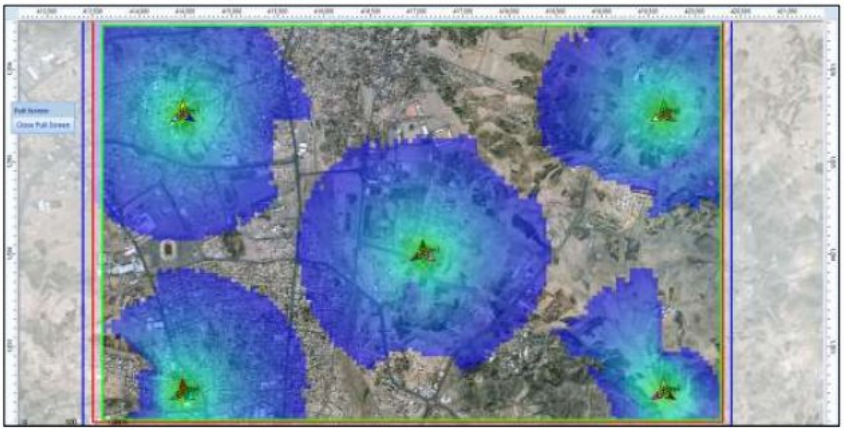


Рис. 3.29. Результат прогнозування ефективного аналізу сигналу (UL) до оптимізації

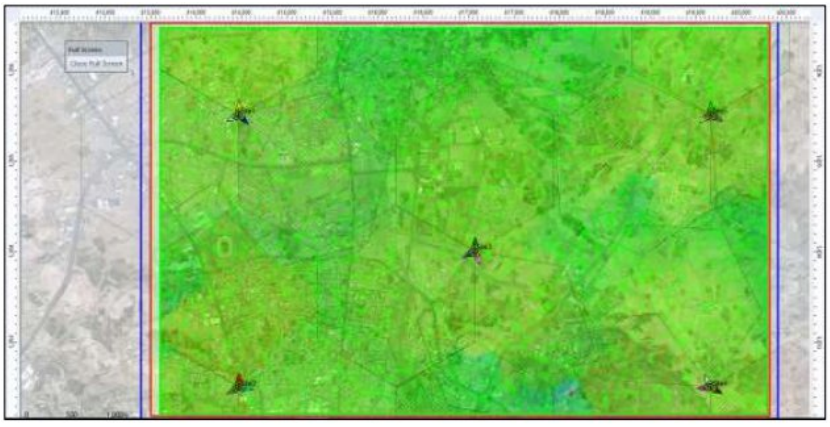


Рис. 3.30. Результат прогнозування ефективного аналізу сигналу (UL) після оптимізації

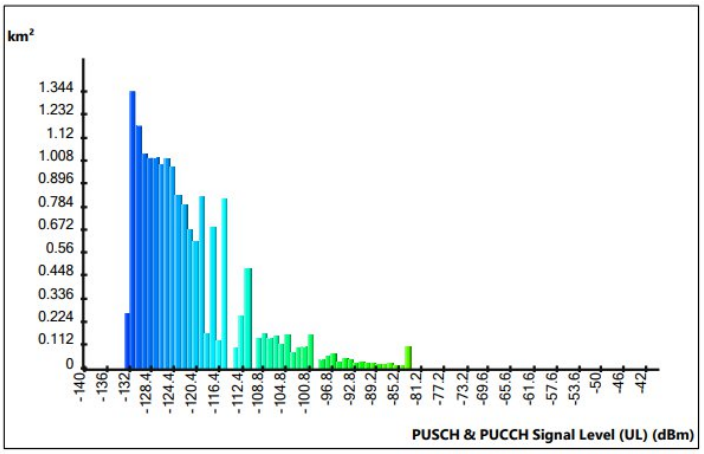


Рис. 3.31. Гістограма прогнозування ефективного аналізу сигналу (UL) до оптимізації

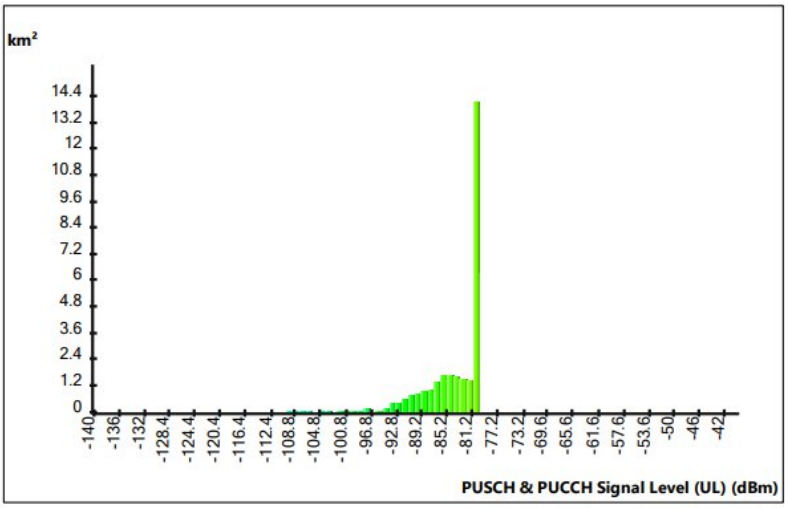


Рис.3.32 Гістограма прогнозу ефективного аналізу сигналу (UL) після оптимізації

З попередніх зображень видно, що є покращення в термінах ефективного аналізу сигналу (UL). Такі сигнали, як; PUCCH (Physical Uplink Control Channel) і PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) мають хороші рівні близько -80 дБм, і цей рівень доступний у широкому діапазоні понад 14 км2, тоді як до оптимізації таке значення було обмежено лише менш ніж 100 м. Ці сигнали використовуються для керуючої інформації висхідної лінії зв’язку, головним чином рішень щодо планування, необхідних для прийому PDSCH і для надання дозволів на планування, що дозволяють передачу по PUSCH.

Покриття за рівнем C/(I+N) (DL). На наступних зображеннях показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за рівнем C/(I+N) (DL) у технології LTE. Рис.3.33 показує результати до процесу оптимізації, який було зроблено та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.34 показує результати після оптимізації.

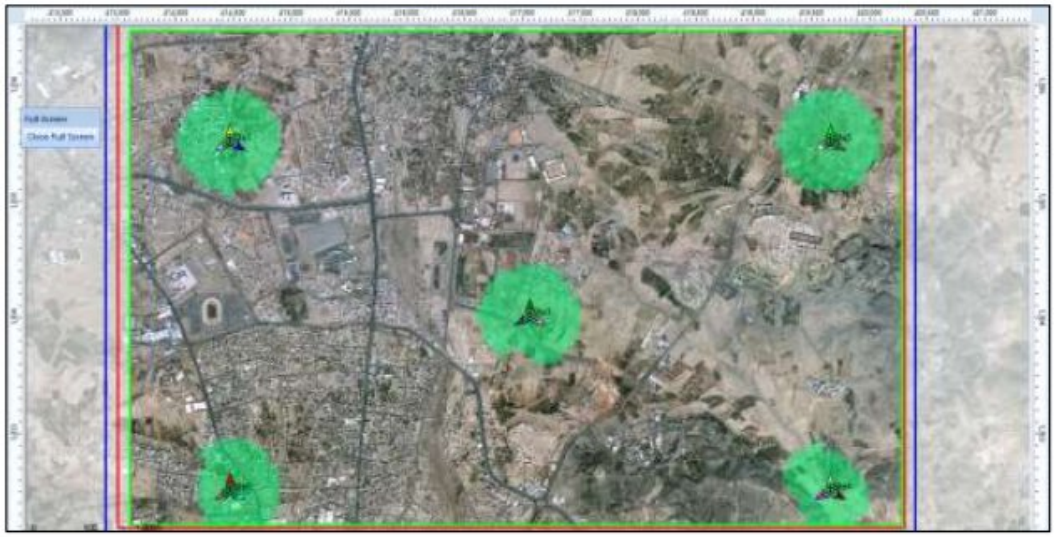


Рис. 3.33. Результат прогнозування покриття за рівнем C/(I+N) (DL) до оптимізації

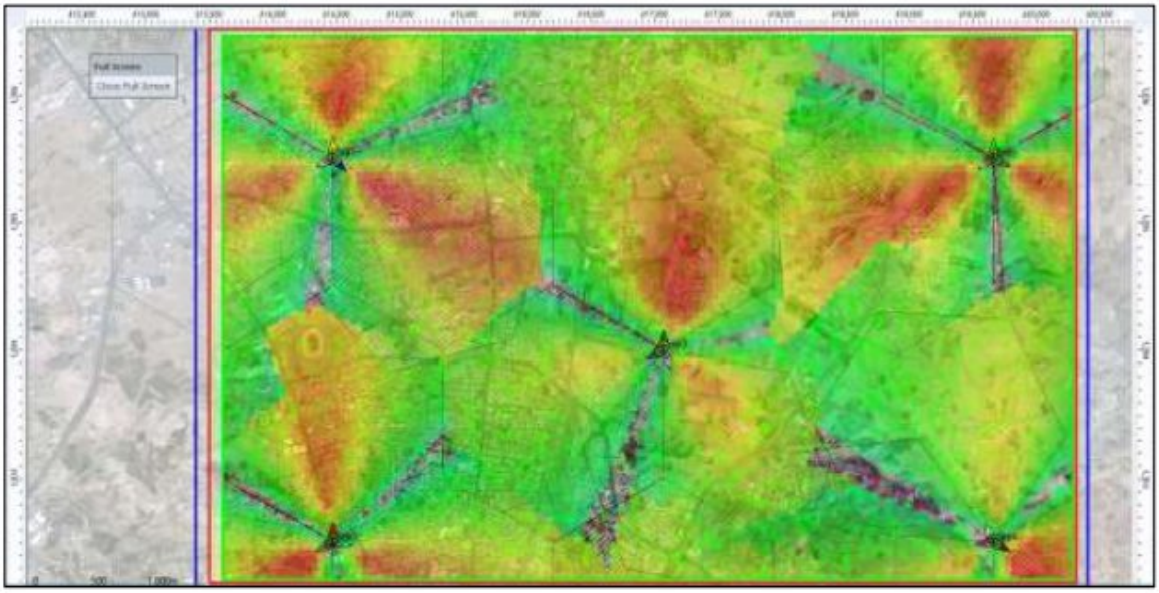


Рис. 3.34. Результат прогнозування покриття за рівнем C/(I+N) (DL) після оптимізації

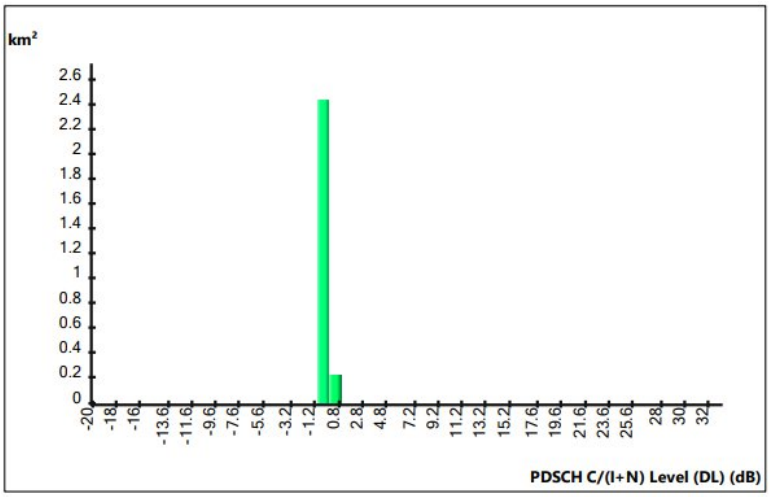


Рис. 3.35. Гістограма прогнозування покриття за рівнем C/(I+N) (DL) до оптимізації

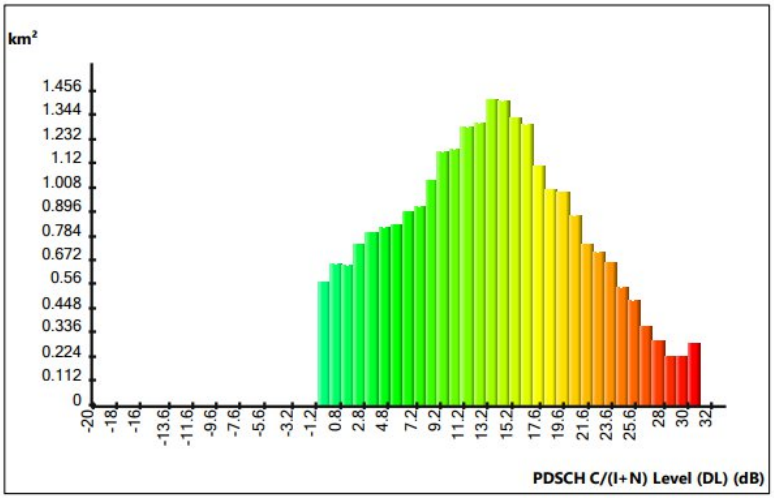


Рис. 3.36. Гістограма прогнозу покриття за рівнем C/(I+N) (DL) після оптимізації

На попередніх рисунках видно, що спостерігається підвищення рівня C/(I+N) (DL). Хороші рівні, такі як; 15 дБ і 17 дБ доступні в широкому діапазоні більше 1,2 км2 після оптимізації. Такі значення взагалі були недоступні до процесу оптимізації.

Покриття за рівнем C/(I+N) (UL). На наступних зображеннях показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за рівнем C/(I+N) (UL) у технології LTE. Рис.3.37 показує результати до процесу оптимізації, який було

зроблено та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.38 показує результати після оптимізації.

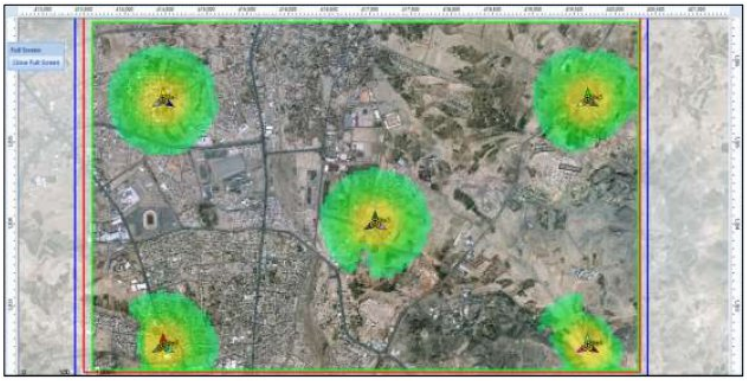


Рис. 3.37. Результат прогнозування покриття за рівнем C/(I+N) (UL) до оптимізації



Рис.3.38 Результат прогнозування покриття за рівнем C/(I+N) (UL) після оптимізації

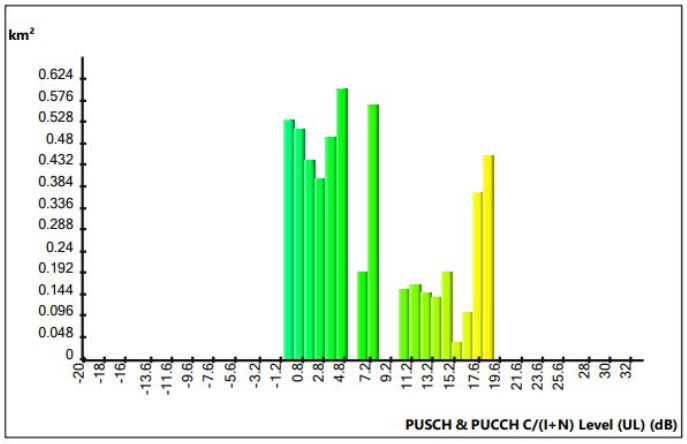


Рис.3.39 Гістограма прогнозування покриття за рівнем покриття C/(I+N) (UL) до оптимізації

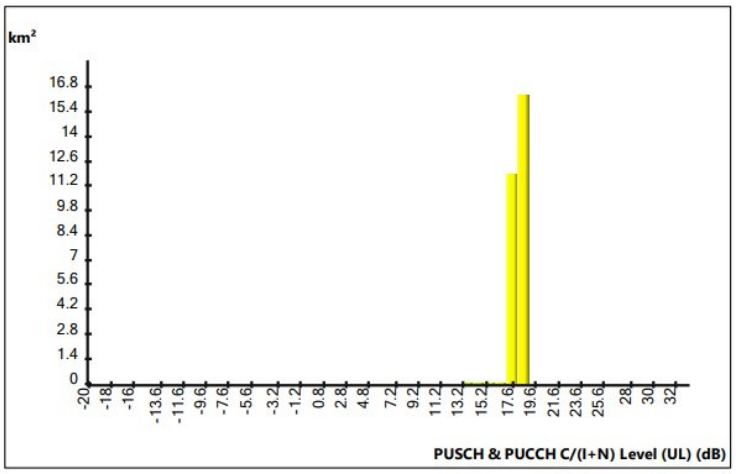


Рис.3.40 Гістограма прогнозування покриття за рівнем покриття C/(I+N) (UL) після оптимізації

На попередніх зображеннях видно, що спостерігається підвищення рівня C/(I+N) (UL). Хороші рівні, такі як; 17 дБ і 19 дБ доступні в широкому діапазоні більше 11 км^2 після оптимізації. Такі значення були доступні в короткому діапазоні менше 0,5 км^2 до процесу оптимізації.

Ефективний аналіз зони обслуговування (DL+UL). На наступних рисунках показано результат прогнозування ефективного аналізу зони обслуговування (DL+UL) у технології LTE. Рис.3.41 показує результати до процесу оптимізації, який було зроблено та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.42 показує результати після оптимізації.

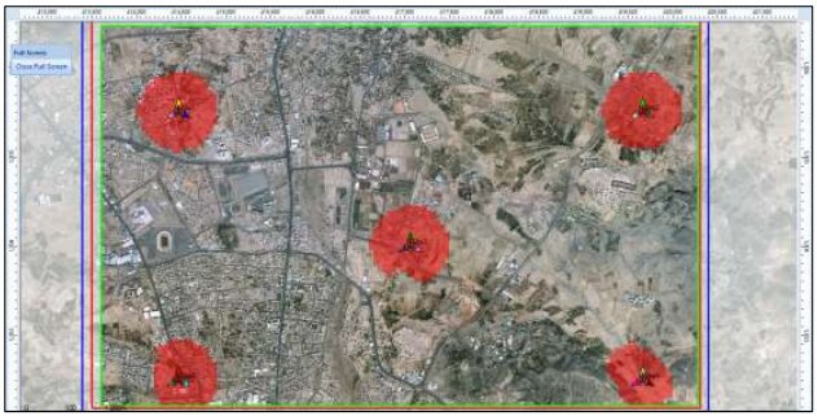


Рис.3.41 Результат прогнозування ефективного аналізу зони обслуговування (DL+UL) до оптимізації

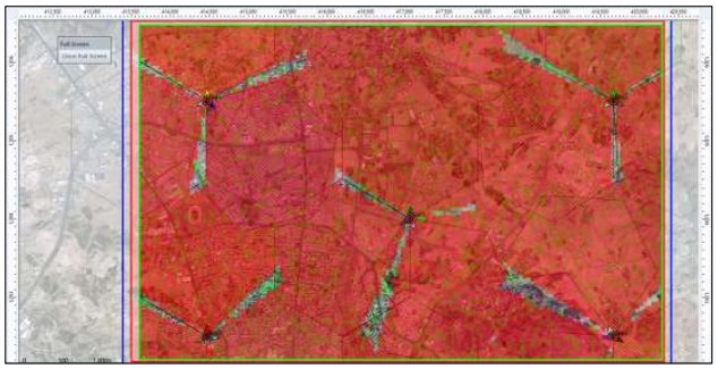


Рис.3.42 Результат прогнозування ефективного аналізу зони обслуговування (DL+UL) після оптимізації

З попередніх зображень видно, що є покращення в терміні ефективного аналізу зони обслуговування (DL+UL). Ефективна зона обслуговування — це зона перетину між зонами обслуговування висхідної та низхідної лінії зв’язку. Іншими словами, передбачення ефективної зони обслуговування обчислює, де послуга фактично доступна як у низхідній, так і в висхідній лінії зв’язку. Очевидно, що після процесу оптимізації охоплено ширшу область. До процесу оптимізації такого покриття взагалі не було.

Покриття за пропускною здатністю (DL). На наступних зображеннях показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за пропускною здатністю (DL) у технології LTE. Рис.3.43 показує результати до процесу оптимізації, який було зроблено та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.44 показує результати після оптимізації.

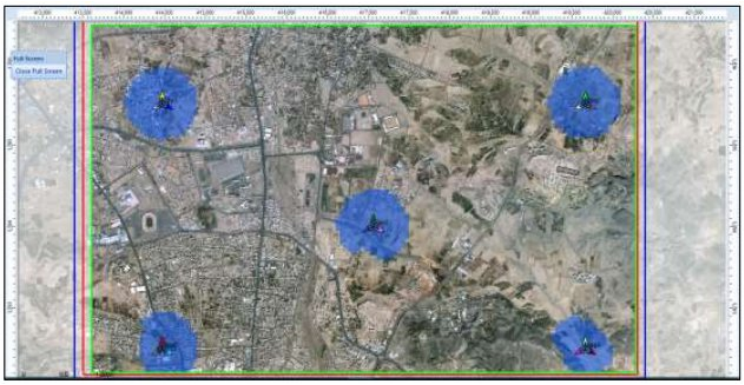


Рис.3.43 Результат прогнозування покриття за пропускною спроможністю (DL) до оптимізації

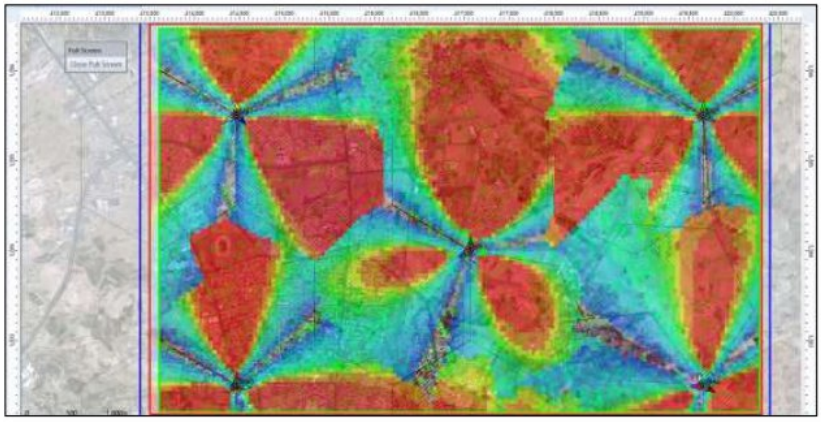


Рис. 3.44. Результат прогнозування покриття за пропускною спроможністю (DL) після оптимізації

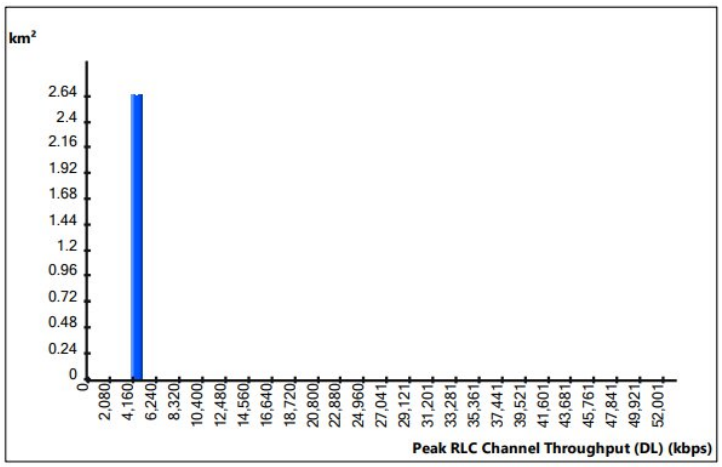


Рис. 3.45. Гістограма прогнозування покриття за пропускною здатністю (DL) до оптимізації

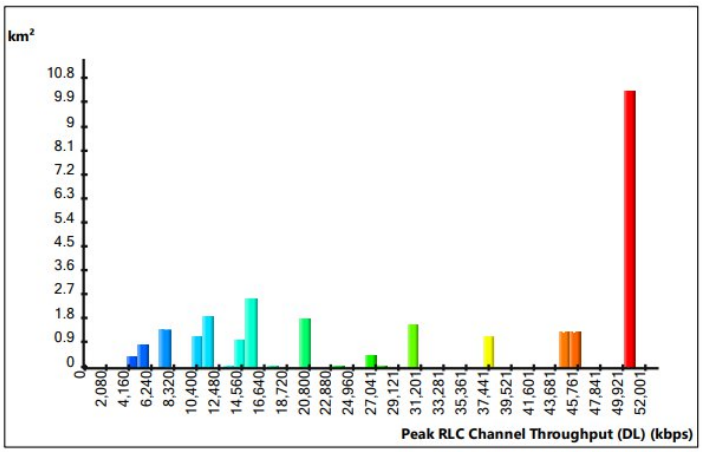


Рис. 3.46. Гістограма прогнозування покриття за пропускною здатністю (DL) після оптимізації

З попередніх цифр видно, що є покращення щодо покриття за пропускною здатністю (DL). Хороші рівні, такі як; Після оптимізації 45 Мб і 50 Мб доступні в широкому діапазоні понад 1 км2. Такі значення взагалі були недоступні до процесу оптимізації.

Покриття за пропускною здатністю (UL). На наступних рисуноках показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за пропускною здатністю (UL) у технології LTE. Рис.3.47 показує результати до процесу оптимізації, який було зроблено та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.48 показує результати після оптимізації.

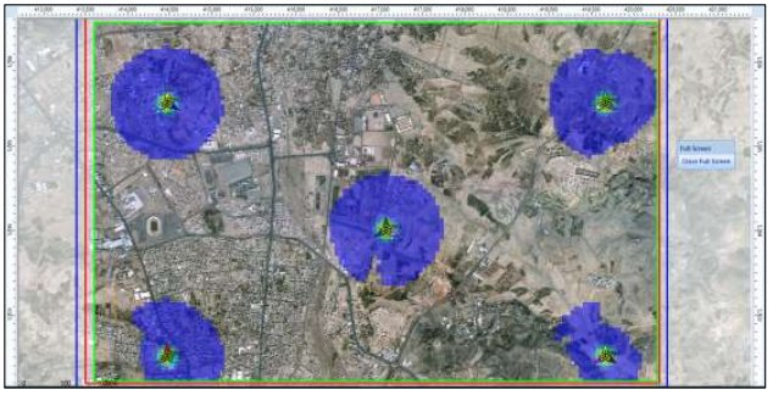


Рис. 3.47. Результат прогнозування покриття за пропускною спроможністю (UL) до оптимізації

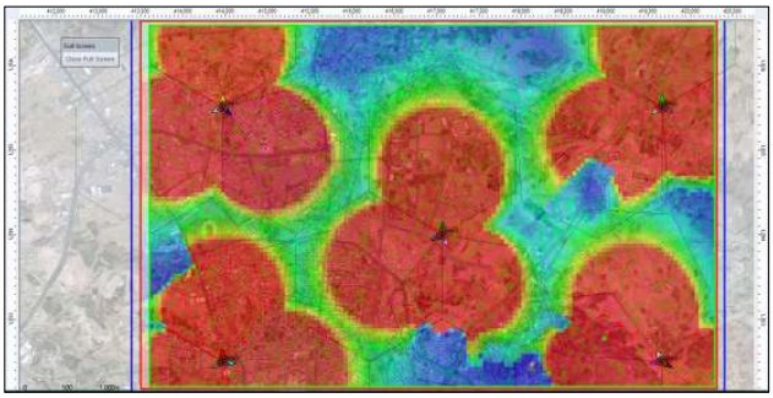


Рис. 3.48. Результат прогнозування покриття за пропускною здатністю (UL) після оптимізації

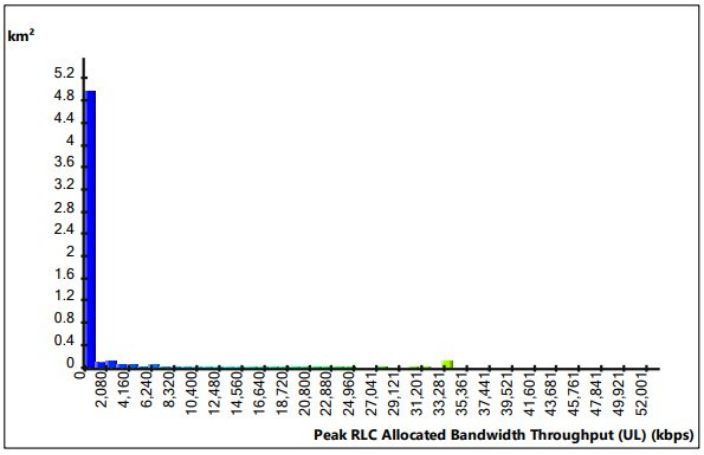


Рис. 3.49. Результат прогнозування покриття за пропускною здатністю (UL) після оптимізації

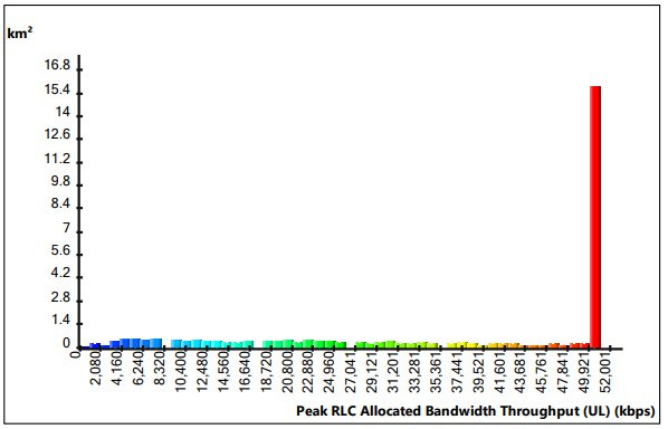


Рис. 3.50. Гістограма прогнозування покриття за пропускною здатністю (UL) після оптимізації

З попередніх цифр видно, що є покращення щодо покриття за пропускною спроможністю (UL). Хороші рівні, такі як; Після оптимізації 50 Мб доступні для широкого діапазону понад 14 км2. Такі значення взагалі були недоступні до процесу оптимізації.

Покриття за показником якості (DL). На наступних зображеннях показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за показником якості (DL) у технології LTE. Рис.3.51 показує результати до процесу оптимізації, який було зроблено та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.52 показує результати після оптимізації.

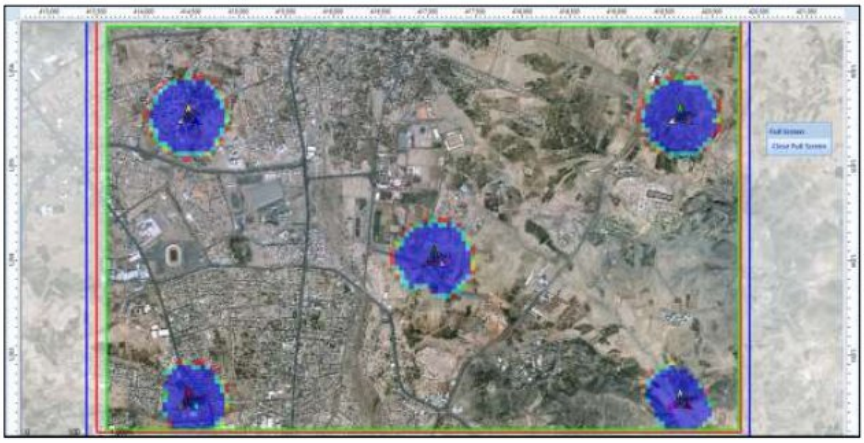


Рис. 3.51. Результат прогнозування покриття за показником якості (DL) до оптимізації

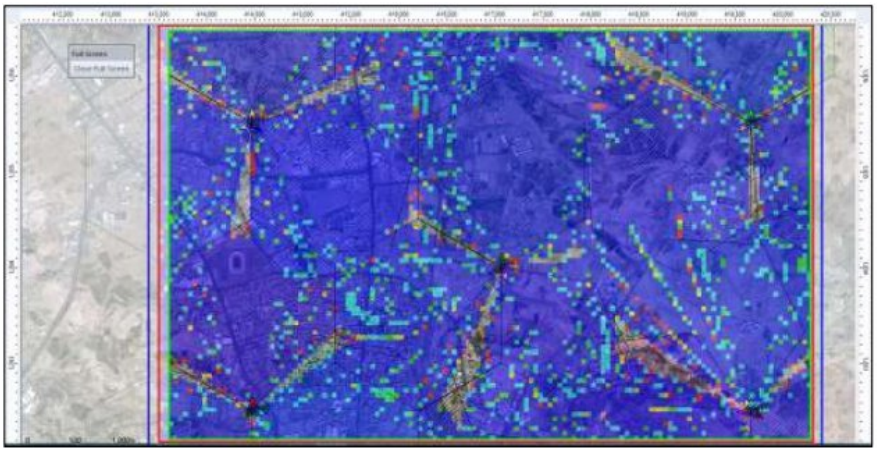


Рис. 3.52. Результат прогнозування покриття за показником якості (DL) після оптимізації

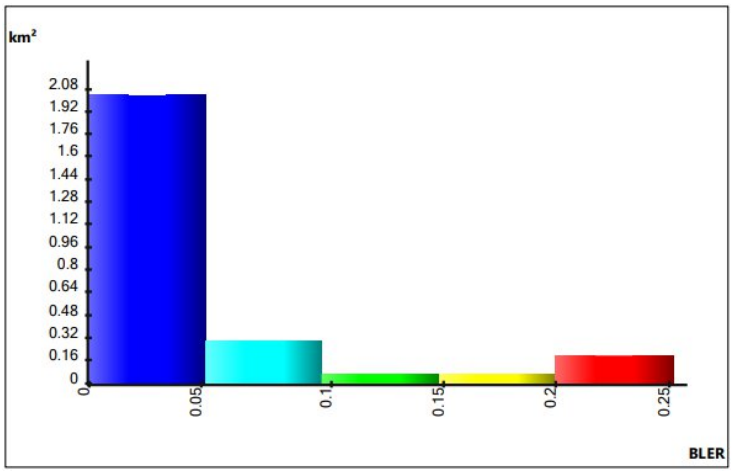


Рис. 3.53. Гістограма прогнозування покриття за показником якості (DL) до оптимізації

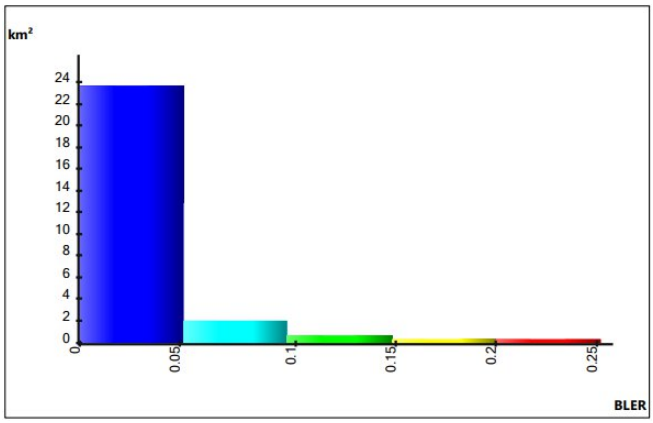


Рис. 3.54. Гістограма прогнозування покриття за показником якості (DL) після оптимізації

З попередніх цифр видно, що є покращення показника якості (DL). Низькі значення BLER (Block Error Rate), такі як 0,05, доступні в широкому діапазоні понад 22 км2 після оптимізації. Такі значення були доступні лише в короткому діапазоні, тобто менше 2 км2 до процесу оптимізації. Частота блокових помилок, зчитана з приймального обладнання абонентського терміналу для рівня C/(I+N) у місці розташування абонента в низхідній лінії зв'язку.

Покриття за показником якості (UL). На наступних зображеннях показано карту та результати прогнозування гістограми покриття за показником якості (UL) у технології LTE. Рис.3.55 показує результати до процесу оптимізації, який було зроблено та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.56 показує результати після оптимізації;

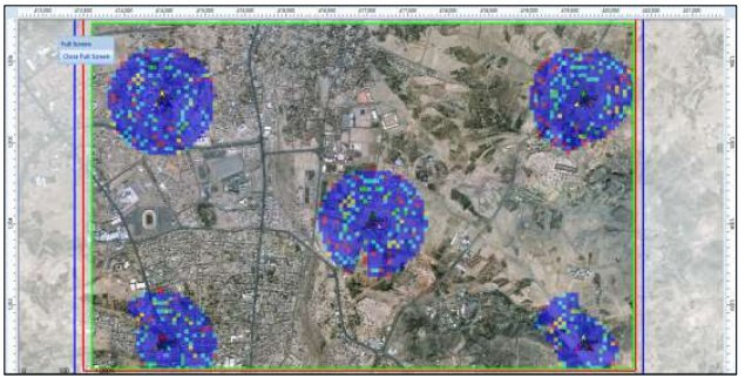


Рис. 3.55. Результат прогнозування покриття за показником якості (UL) до оптимізації

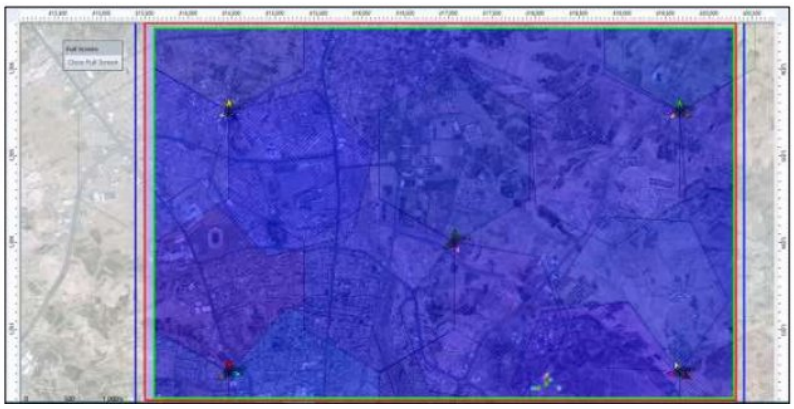


Рис. 3.56. Результат прогнозування покриття за показником якості (UL) після оптимізації

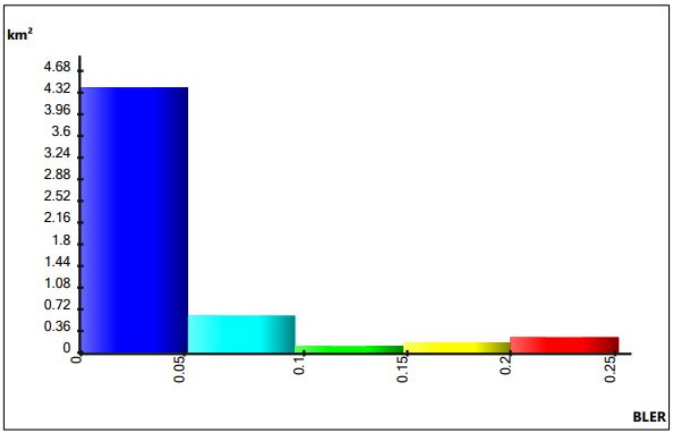


Рис.3.57 Гістограма прогнозування покриття за показником якості (UL) до оптимізації

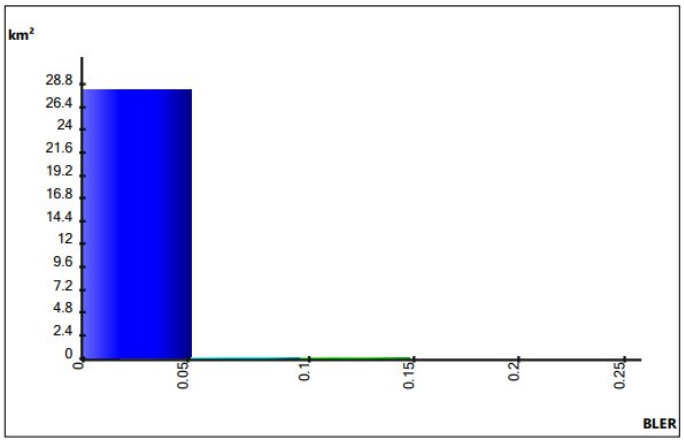


Рис.3.58 Гістограма прогнозування покриття за показником якості (UL) після оптимізації

З попередніх цифр видно, що є покращення показника якості (UL). Низькі значення BLER (Block Error Rate), такі як 0,05, доступні в широкому діапазоні понад 26 км^2 після оптимізації.

Такі значення були доступні лише в короткому діапазоні, тобто менше 5 км^2 до процесу оптимізації. Частота блокових помилок, зчитана з приймального обладнання абонентського терміналу для рівня C/(I+N) у місці розташування абонента в низхідній лінії зв’язку.

Зони зіткнення ідентифікатора комірки (DL). На наступних зображеннях показано результат прогнозування зон зіткнення ідентифікатора клітинки (DL) у технології LTE. Рис.3.59 показує результати до процесу оптимізації, який було зроблено та пояснено в попередньому розділі, а рис.3.60 показує результати після оптимізації.

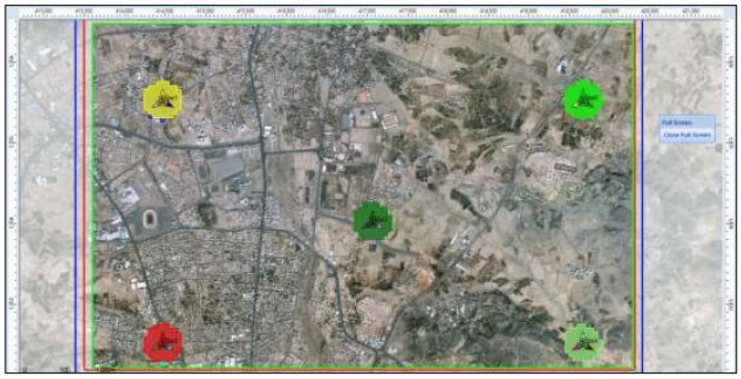


Рис. 3.59. Результат прогнозування зон колізії ідентифікатора стільника (DL) до оптимізації

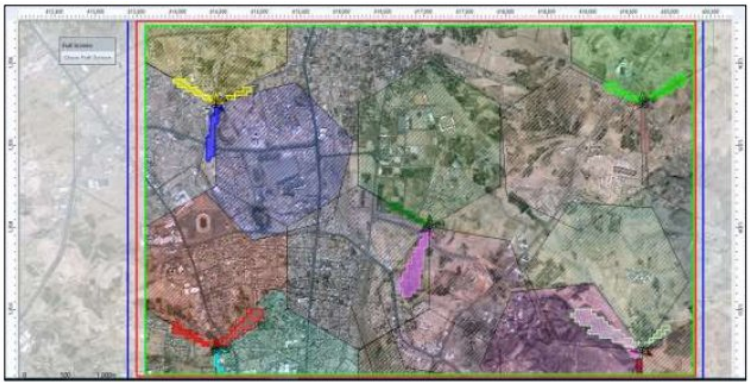


Рис.3.60 Результат прогнозування зон колізії ідентифікатора клітинки (DL) після оптимізації

З попередніх зображень видно, що є покращення терміну зон зіткнення ідентифікатора клітинки (DL). Ці зони стали значно вужчими, ніж вони були до процесу оптимізації. Вони вже не становлять серйозної проблеми.

3.3. Обговорення результатів, рекомендації та перспективи майбутніх досліджень

Вимоги та результати моделювання. На рис.3.61 показано початкові вимоги до моделювання та результати технології LTE. Верхня частина показує результати до процесу оптимізації, який було зроблено та пояснено в попередньому розділі, а нижня частина показує результати після оптимізації

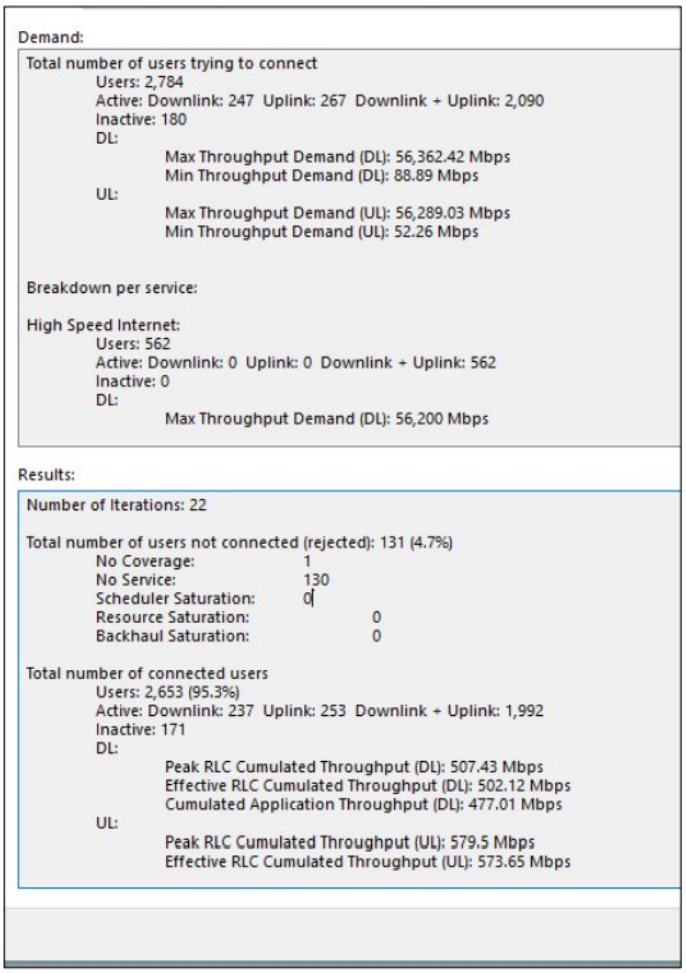


Рис. 3.61. Початкові вимоги до моделювання та результати

Остаточний результат моделювання показує, що лише 4,7% користувачів стикаються з проблемами, пов’язаними з підключенням до мережі. Цей відсоток відносно невеликий і прийнятний у практичному середовищі. Цей результат був досягнутий після тривалого процесу, який вимагав багатьох тестів і досліджень.

Рекомендації. Згідно з результатами дослідження, нижче наведено наступні рекомендації;

- передавачі повинні бути встановлені на висоті 40 м у випадку LTE;

- у разі LTE слід використовувати антену (65 градусів, 17 дБі, 8 нахилів, 700/800 МГц);

- максимальна потужність 50 дБм має бути встановлена для стільників, які використовуються у випадку LTE4

- увімкнення агрегації несучих з кількома діапазонами;

- зміна кута азимута та механічного нахилу вниз передавачів за потреби відповідно до прогнозованих карт покриття;

- використання кількох діапазонів E-UTRA Band 1 – 20 МГц у випадку LTE;

- збільшення кількості спільно запланованих користувачів MU-MIMIO до 5 у випадку LTE;

- передавачі повинні бути встановлені на висоті 35 м у випадку LTE;

- у разі LTE слід використовувати антену (65° 18 дБі 4 Tilt 1900/2100 МГц);

- встановлення смуги частот (n260) у кожній комірці. Цей діапазон має опорну частоту 37 ГГц;

- встановлення несучої (400 МГц - NR-ARFCN 2019999), яка є в таблиці клітинок, було встановлено для всіх клітинок. Ця несуча знаходиться в діапазоні n258, центральна частота якого становить 24,25 ГГц;

- збільшення кількості передавальних і приймальних антен призвело до покращення результатів. Це значення було збільшено з 32;

- збільшення кількості підсилювачів потужності (DL) призвело до покращення результатів. Це значення було збільшено з 2;

- встановлення формату преамбули PRACH у списку властивостей комірки призвело до покращення результатів. Це значення було встановлено на 0, що відповідає 14,531 км;

- встановлення поля планувальника в списку властивостей комірок призвело до покращення результатів. Для цього значення було встановлено значення (Макс. C/I) замість (Пропорційний справедливий). Цей метод планування розподіляє ресурси, необхідні користувачам для досягнення їхніх вимог до максимальної пропускної здатності, у порядку їх PDSCH C/(I+N) у низхідній лінії зв’язку та їхніх PUSCH & PUCCH C/(I+N) у висхідній лінії зв’язку. Це означає, що користувачі, які перебувають у хороших умовах радіозв’язку, отримають необхідні ресурси;

- встановлення поля Cell Edge Margin (дБ) у списку властивостей комірки призвело до покращення результатів. Це значення встановлено на 3 дБ замість 0 дБ. Це значення стосується максимальної різниці між втратою шляху другого найкращого сервера та втратою шляху найкращого сервера, які слід розглядати на

краю комірки. Певні дії з керування перешкодами виконуються на граничних областях стільника, таких як ICIC, eICIC і CoMP;

- додавання ретрансляторів до сліпих зон, які помічаються з прогнозованих карт покриття.

Перспективи майбутніх досліджень. Після проведення цього дослідження пропонується зробити наступне:

- варто проводити подібні дослідження, які стосуються різних рельєфів;

- варто детально вивчати різного роду факторів, що впливають на продуктивність стільникових мереж;

- варто виконувати аналіз аналгічних практичних досліджень деяких телекомунікаційних компаній, які оновили свої послуги до LTE;

- слід вивчати перешкоди та труднощі, з якими стикаються телекомунікаційні компанії під час розгортання мережі LTE.

ВИСНОВКИ

Таким чином, виконуючи поставлені завдання, мною проведено огляд обсягу глобального ринку 4G в Україні та світі, результат якого показує широке застосування технології LTE в наш час.

У 2024 році технології 4G залишаються одними з найперспективніших у нашій країні, оскільки вони є основою для подальшого розвитку систем мобільного зв’язку. Це стимулює українські телекомунікаційні компанії інвестувати у вдосконалення, зокрема у впровадження VoLTE та інших перспективних технічних рішень. Далі мною наведено технічні характеристик та приклад обладнання на базі якого реалізується безпосередньо мережа 4G.

Під час виконання другого завдання я провів аналіз, у якому описав методологію дослідження, що спиралася на обговорення специфікацій технології.

Було подано відповідні вимоги та параметри, розглянуто початкові налаштування й результати, а також детально висвітлено етапи процесу оптимізації.

Виконуючи наступне завдання, було досліджено попередні результати прогнозування та моделювання, отримані відповідно до початкових налаштувань. Ці результати демонструють різні параметри, які можуть використовуватися для оцінки ефективності кожної технології. Як зазначено раніше, ці результати ще не відповідають дослідницьким цілям, тому оптимізація виконана в практичній частині з метою досягнення кращих результатів. У практичній частині представлені початкові дані прогнозування та моделювання для технології LTE, отримані на основі встановлених початкових параметрів. У роботі розкривається процедура оптимізації, здійснена у поточному дослідженні через низку змін і коригувань в кінцевому підсумку привели до покращення результатів планування мережі.

Результати, представлені в магістерській кваліфікаційній роботі, наголошують на важливості розгляду ключових аспектів планування, таких як ретельне дослідження рельєфу, оцінка різноманітних факторів, що впливають на продуктивність мережі, а також детальне вивчення можливих перешкод і викликів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Cox, C. An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications. United Kingdom: Wiley, 2019.

2. Dahlman, E., Parkvall, S., Skold, J. 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. Netherlands: Elsevier Science, 2017.

3. Forsk. Atoll 3.3.2 User Manual for Radio Networks. Forsk, 2016.

4. Ghazzai, H., Yaacoub, E., Alouini, M. S., Dawy, Z., & Abu-Dayya, A. Optimized LTE cell planning with varying spatial and temporal user densities. IEEE Transactions on vehicular technology, 65(3),2019, 1575-1589.

5. Ghosh, A., Zhang, J., Andrews, J. G. Fundamentals of LTE. United Kingdom: Prentice Hall. 2018.

6. Gütter, D., Luntovskyy, A. Highly-Distributed Systems: IoT, Robotics, Mobile Apps, Energy Efficiency, Security. Switzerland: Springer International Publishing, 2022.

7. Holma, Harri & Toskala, Antti (2012). LTE Advanced: 3GPP Solution for IMTAdvanced. Germany: Wiley.

8. Kasch, W. T. M., Andrusenko, J., Everett, J. S., Burbank, J. L. (2013). Wireless Networking: Understanding Internetworking Challenges. United States, 2018.

9. Kazi, Emad. Pillai, Rajan. Qureshi, Uzai.r Fakih, Awab (2013). Long Term Evolution (LTE), 2019, pp. 36-42.

10. Krause, A., Anwar, W., Martinez, A. B., Stachorra, D., Fettweis, G., & Franchi, N. Network Planning and Coverage Optimization for Mobile Campus Networks.2021, pp. 305-310.

11. McNally, D., Mayne, A., Bowler, D., Wakefield, T. Introduction to Mobile Communications: Technology, Services, Markets. Ukraine: CRC Press, 2021.

12. Mishra, Ajay R. Advanced Cellular Network Planning and Optimization: 2G/2.5G/3G...Evolution to 4G. Germany, 2018.

13. Moray Rumney. LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design a Measurement Challenges. Netherlands, 2020.

14. Osseiran, Afif. Monserrat, Jose F. Marsch, Patrick. 5G Mobile and Wireless Communications Technology, 2021.

15. Pérez-Romero, J., Sallent, O., Ferrús, R., & Agustí, R. Knowledge-based 5G radio access network planning and optimization. International Symposium on Wireless Communication Systems. 2020, pp. 359-365.

16. Petea Krüssel Future Telco: Successful Positioning of Network Operators in the Digital Age. Germany: Springer International Publishing, 2019.

17. Reed, J. H., Tripathi, N. Cellular Communications: A Comprehensive and Practical Guide. United States, 2021.

18. Rumney, Moray. LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges. Netherlands,2020.

19. Sauter, M. From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband. Germany, 2019.

20. Theo Lynn, John G. Mooney, Brian Lee, Patricia Takako Endo. The Cloud-to-Thing Continuum: Opportunities and Challenges in Cloud, Fog and Edge Computing. Germany, 2020.

21. Timmers, M., Pollin, S., Van der Perre, L. Software Defined Radios: From Smart(er) to Cognitive. Netherlands, 2021.

22. Toskala, Antti. Holma, Harri. Nakamura, Takehiro. 5G Technology: 3GPP New Radio. United Kingdom, 2021.

- Varrall, G. 5G and Satellite Spectrum, Standards, and Scale. United Kingdom, 2019.

23. Velrajan, Saravanan. An Introduction to 5G Wireless Networks: Technology, Concepts and Use-Cases, 2020.

24. Wang, S., & Ran, C. Rethinking cellular network planning and optimization. IEEE Wireless Communications, 2022, 23(2), pp.118-125.

25. Zaki, Y. Future Mobile Communications: LTE Optimization and Mobile Network Virtualization. Germany, 2020.

26. Zeadally, Sherali. Chaouchi, Hakima. Chilamkurti, Naveen. Next Genera Wireless Technologies: 4G and Beyond, Netherlands, 2019.

27. Чистяков, В. А. Аналіз технологій бездротової передачі даних / В. А. Чистяков, Б. Є. Миктибаев, А. Б. Жанбеков // Журнал наукових і прикладних досліджень. 2019. Вип.1. С.166-169.

28. Даков С.Ю. Методика мониторинга загрузки базовых станций и загрузки для LTE сетей четвертого поколения. XV Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки».2020.С.5.

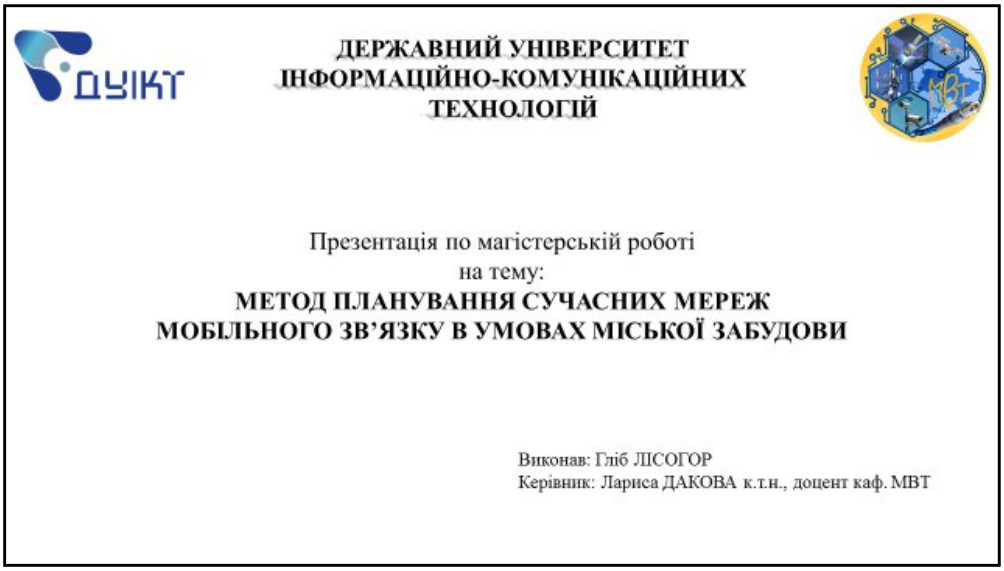
29. Одарченко Р.С., Абакумова А.О., Дика Н.В. Дослідження вимог до стільникових мереж нового покоління та можливості їх розгортання в Україні. Проблеми інформатизації та управління. 2022.Вип. 2. С. 52–59.

30. Лук’яненко В.Ю. Планування мережі стільникового зв’язку для сільської місцевості за стандартом «LTE 900»

31. Портал про сучасні технології мобільного та бездротового зв'язку [Електронний ресурс] // URL: http://1234g./4g/lte/printsip-raboty-seti-lte/printsipypostroeniya-i-funktsionirovania-setej-lte (дата звернення : 14.10.2024).

32. Як MIMO антени збільшують швидкість 4G LTE у 2.5 рази [Електронний ресурс] // URL: https://ukrn.com.ua/news/kak-mimo-antennyuvelichivaut-skorost-4g-lte-internet/ (дата звернення: 27.10.2024).

ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ


ДУІКТ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
МВТ
Презентація по магістерській роботі
на тему:
МЕТОД ПЛАНУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕРЕЖ
МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ
Виконав: Гліб ЛІСОГОР
Керівник: Лариса ДАКОВА к.т.н., доцент каф. МВТ

МЕТА РОБОТИ

2

Мета роботи - планування та оптимізації мереж LTE в умовах міської забудови.

Об'єкт дослідження – процес планування мережі мобільного зв'язку.

Предмет дослідження – мережа мобільного зв'язку 4G.

ЗАВДАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ:

- Аналіз сучасного стану систем мобільного зв'язку та їх технічні складові;
- Дослідження методології прогнозування та моделювання мережі LTE;
- Оптимізація та практичне планування сучасних мереж безпроводового зв'язку.

ОГЛЯД РИНКУ4G LTE

3

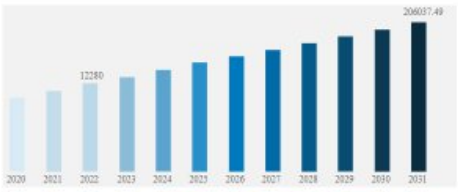


Рис. 1.1. Обсяг глобального ринку 4G LTE



Рис. 1.2. Глобальна частка ринку 4G LTE за типом



Рис. 1.3. Поширення технології LTE у світі

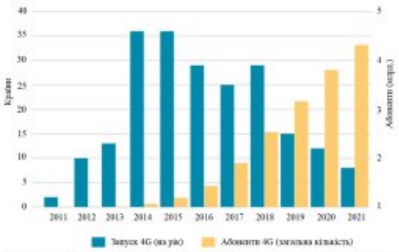


Рис.1.4 Кількість запусків та абонентів LTE 4G, період 2011-2021

РОЗПОДІЛ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ В УКРАЇНІ

4

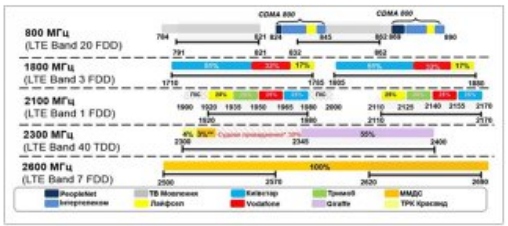


Рис. 1.5. Частоти операторів України стандарту LTE



Рис. 1.6. Використання сервісів LTE

Лот №1 (діапазон 2100 МГц)
- Частотний діапазон: 1945-1950/2135-2140 МГц.
- Початкова ціна: 458,3 млн грн.
- Переможець: «Vodafone Україна».
- Фінальна ставка: 458,333 млн грн.

Лот №2 (діапазон 2100 МГц)
- Частотний діапазон: 1935-1940/2125-2130 МГц.
- Початкова ціна: 458,3 млн грн.
- Переможець: lifecell.
- Фінальна ставка: 463 млн грн.

Лот №3 (діапазон 2100 МГц)
- Частотний діапазон: 1940-1945/2130-2135 МГц.
- Початкова ціна: 439,9 млн грн.
- Переможець: «Київстар».
- Фінальна ставка: 448,5 млн грн.

Лот №4 (діапазон 2300 МГц)
- Частотний діапазон: 2355-2395 МГц.
- Початкова ціна: 984,86 млн грн.
- Переможець: «Київстар».
- Фінальна ставка: 994,8 млн грн.

Лот №5 (діапазон 2600 МГц)
- Частотний діапазон: 2575-2610 МГц.
- Початкова ціна: 530,005 млн грн.
- Переможець: «Vodafone Україна».
- Фінальна ставка: 530,1 млн грн.

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ МЕРЕЖІ LTE 5

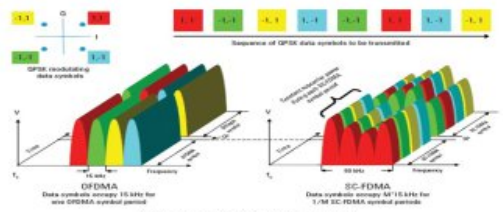
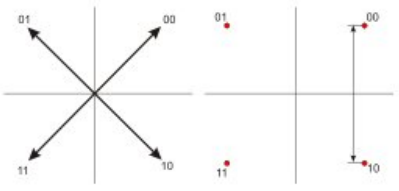


Рис. 1.7. OFDMA та SC-FDMA



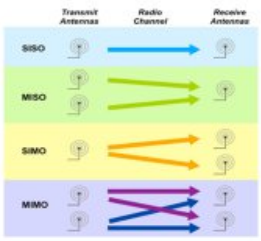


Рис.1.8. Використання MIMO

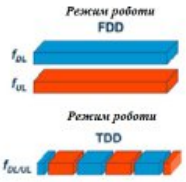


Рис.1.9. Режими роблоти

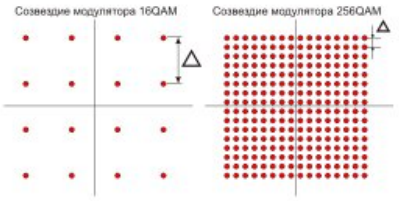


Рис.1.10. Види модуляції

АРХІТЕКТУРА ТА ТЕХНІЧНІ СКЛАДОВІ 6

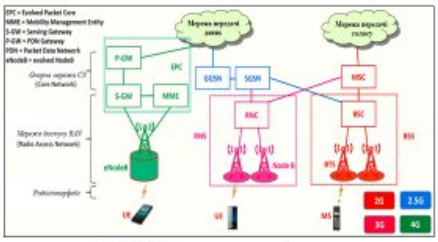


Рис.1.11. Структура мережі

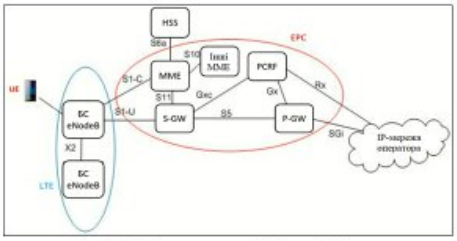


Рис.1.12. Опорна мережа EPC для LTE



Рис. 1.13. Дистанційна радіоголовка



Рис. 1.14. Антена eNB із RRH

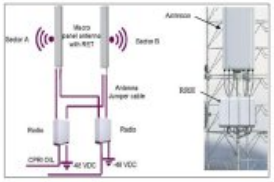


Рис. 1.15. Антена eNB з RRH



Рис. 1.16. Модуль базової смуги

АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, СПЕЦИФІКАЦІЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ 7



Рис.2.1. Інтерфейс програми Atoll

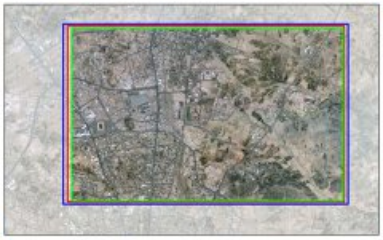


Рис.2.3. Розтування дослідження в межах 3 шарів в Atoll

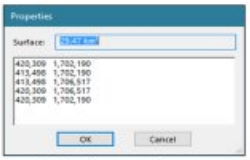


Рис. 2.4. Розмір зони обчислення та її координація

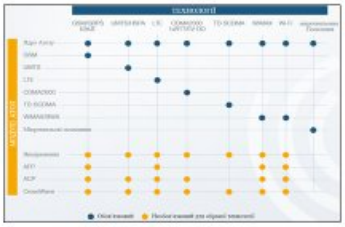


Рис. 2.2. Технологічна матриця

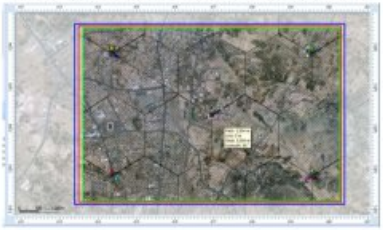


Рис. 2.6. Відстань між ділянками



Рис. 2.5. Характеристики шаблону БС LTE

ПРОГНОЗИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДО ВСТАНОВЛЕНИХ ПОЧАТКОВИХ НАЛАШТУВАНЬ

8

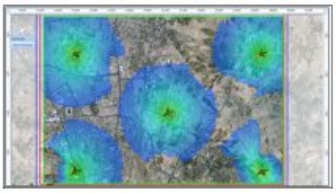


Рис. 2.6. Результат прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) у технології LTE

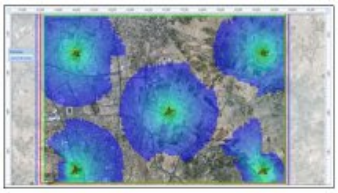
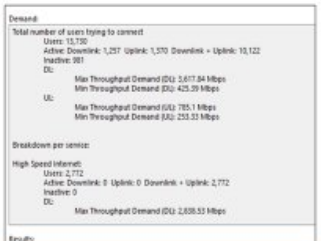


Рис.2.8 Результат прогнозування ефективного аналізу сигналу (UL) у технології LTE



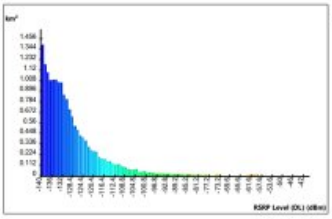


Рис. 2.7. Гістограма прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) у технології LTE

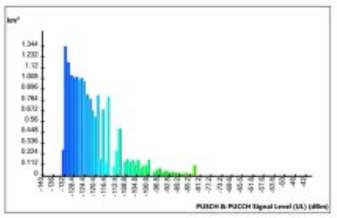


Рис. 2.9. Гістограма прогнозування ефективного аналізу сигналу (UL) у технології LTE

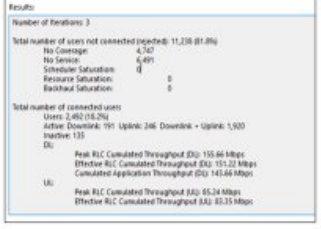


Рис. 2.10. Початкові вимоги до моделювання та результати технології LTE

ПРОЦЕДУРИ ОПТИМІЗАЦІЇ

9

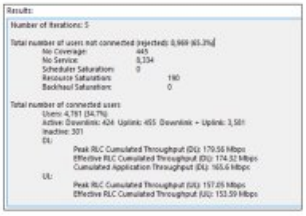


Рис. 3.1. Результати моделювання після збільшення висоти передавача до 40 м

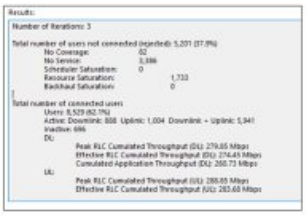


Рис. 3.2. Результати моделювання після зміни типу антени

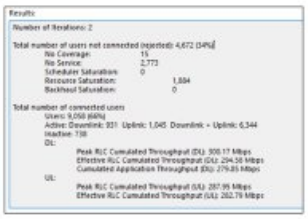


Рис.3.3. Результати моделювання після збільшення максимальної потужності комірок

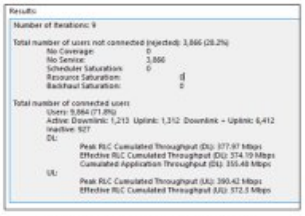


Рис. 3.4. Результати моделювання після модифікації терміналів UE

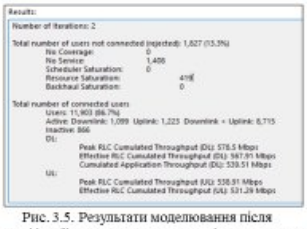


Рис. 3.5. Результати моделювання після модифікації кута азимута та механічного нахилу вниз передавачів у конструкції LTE

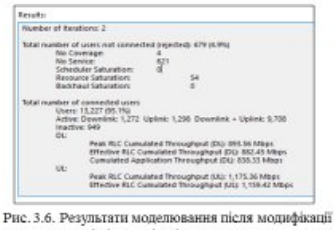


Рис. 3.6. Результати моделювання після модифікації смуги частот і кількості спільно запланованих MU-MIMO в дизайні LTE

РЕЗУЛЬТАТИ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ

10

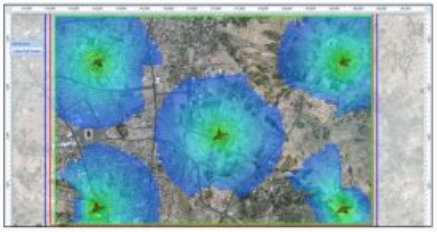


Рис. 3.7. Результат прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) до оптимізації

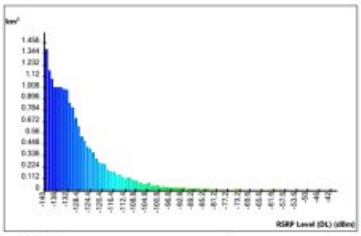


Рис. 3.8. Гістограма прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) до оптимізації

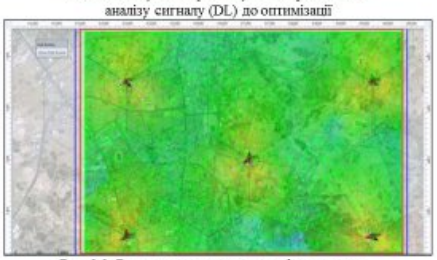


Рис. 3.9. Результат прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) після оптимізації

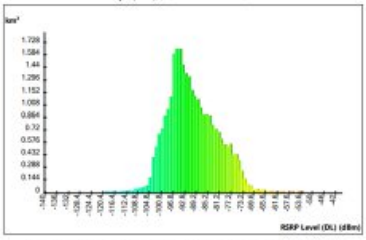


Рис. 3.10. Гістограма прогнозування ефективного аналізу сигналу (DL) після оптимізації

РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ МАЙБУТНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

11

Згідно з результатами дослідження, нижче наведено частковий перелік рекомендацій при плануванні мережі мобільного зв'язку:

- передавачі повинні бути встановлені на висоті 40 м у випадку LTE;
- у разі LTE слід використовувати антену (65 градусів, 17 дБі, 8 нахилів, 700/800 МГц);
- максимальна потужність 50 дБм має бути встановлена для стільників, які використовуються у випадку LTE4
- зміна кута азимута та механічного нахилу вниз передавачів за потреби відповідно до прогнозованих карт покриття;
- використання кількох діапазонів E-UTRA Band 1 – 20 МГц у випадку LTE;
- збільшення кількості спільно запланованих користувачів MU-MIMIO до 5 у випадку LTE;
- передавачі повинні бути встановлені на висоті 35 м у випадку LTE;
- збільшення кількості передавальних і приймальних антен призвело до покращення результатів. Це значення було збільшено в 32;
- збільшення кількості підсилювачів потужності (DL) призвело до покращення результатів. Це значення було збільшено в 2;
- встановлення формату преамбули PRACH у списку властивостей комірки призвело до покращення результатів. Це значення було встановлено на 0, що відповідає 14,531 км;
- додавання ретрансляторів до сліпих зон, які помічаються з прогнозованих карт покриття.

Перспективи майбутніх досліджень.

- варто проводити подібні дослідження, які стосуються різних рельєфів;
- варто детально вивчати різного роду факторів, що впливають на продуктивність стільникових мереж;
- варто виконувати аналіз аналгічних практичних досліджень деяких телекомунікаційних компаній, які оновили свої послуги до LTE;
- слід вивчати перешкоди та труднощі, з якими стикаються телекомунікаційні компанії під час розгортання мережі LTE.

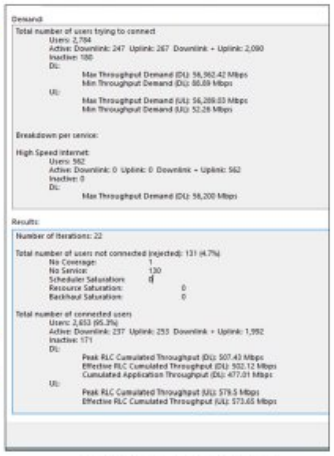


Рис. 3.11. Початкові вимоги до моделювання та результати

ВИСНОВКИ

12

В магістерській роботі досягнуто наступних результатів:

1. У першому розділі проведено аналіз стану та обсягів глобального ринку технологій 4G, зокрема в Україні, який засвідчив широке впровадження стандарту LTE. Визначено перспективність його розвитку як основи для подальшого вдосконалення систем мобільного зв'язку, включаючи впровадження VoLTE та інших інновацій. Деталізовано технічні характеристики та наведено приклади обладнання, необхідного для розгортання мереж.

2. У другому розділі здійснено аналіз специфікацій технології LTE, визначено методологічні підходи, параметри та вимоги до впровадження мережі. Розглянуто початкові налаштування, результати роботи системи та етапи оптимізації з метою підвищення ефективності функціонування мережі.

3. У третьому розділі досліджено результати моделювання та прогнозування функціонування мережі LTE відповідно до заданих початкових параметрів. Проаналізовано їх відповідність поставленим дослідницьким завданням та виконано оптимізацію з метою досягнення підвищеної продуктивності системи.

Таким чином отримані результати акцентують увагу на важливості розгляду ключових аспектів планування, таких як ретельне дослідження рельєфу, оцінка різноманітних факторів, що впливають на продуктивність мережі, а також детальне вивчення можливих перешкод і викликів, з якими стикаються телекомунікаційні компанії під час розгортання LTE. Це сприятиме більш якісному та ефективному плануванню мережі в майбутньому.