

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

« ____ » _____ 2021 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інженерія та програмування
інфокомунікацій»**

зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Метод підвищення точності розрахунку моделі радіопокриття
в мобільних мережах зв'язку»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ТЗ-01мп

Ловейкін Данило Юрійович _____

Керівник:

доцент кафедри ТК, доцент, к.т.н,

Явіся В.С. _____

Рецензент:

доцент кафедри ІКТС НН ІТС, доцент, к.т.н,

Правило В.В. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інженерія та програмування інфокомунікацій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Ловейкіну Данилу Юрійовичу

1. Тема дисертації «Підвищення точності розрахунку моделі радіопокриття в мобільних мережах зв'язку», науковий керівник дисертації доцент кафедри ТК ІТС Явіся Валерій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «04» листопада 2021 р. № 3672-с.
2. Термін подання студентом дисертації 10.12.2021 р.
3. Об'єкт дослідження: Мобільна мережа четвертого покоління LTE
4. Предмет дослідження: Розрахункові моделі програмного забезпечення Forsk Atoll
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 1. Запис хронології показників рівнів потужності сигналу стільникової мережі у файл з прив'язкою до координат за допомогою тестового пристрою.

2. Перевірка розрахунків покриття стільникової мережі LTE програмою Forsk Atoll на правдивість.
3. Аналіз отриманих значень з реальними показниками мобільної мережі у відповідній точці розрахунку.
4. Калібрування розрахункової моделі Forsk Atoll, базуючись на записаних показниках вже розгорнутої мобільної мережі.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

1. Тема, мета, актуальність, задачі дослідження.
2. Проблема неточності розрахунку програмного засобу Forsk Atoll.
3. Методика калібрування моделі радіопокриття.
4. Результати калібрування моделі.
5. Загальні висноки.

7. Дата видачі завдання “ 10 ” листопада 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Розробка, оформлення, узгодження та затвердження технічного завдання на дипломну роботу	10.11.2020	виконано
2	Пошук та опрацювання літературних джерел з теми дослідження магістерської дисертації	20.12.2020	виконано
3	Аналіз вимог завдання, вибір методів і засобів розв'язання поставленої задачі	01.03.2021	виконано
4	Проектування стільникової мережі 4-го покоління LTE у програмному засобі Forsk Atoll.	07.05.2021	виконано
5	Розрахунок покриття та аналіз отриманих результатів у порівнянні з реальними показниками мережі.	18.09.2021	виконано
6	Підготовка методики калібрування моделі радіопокриття програмного засобу Forsk Atoll.	10.10.2021	виконано
7	Оформлення магістерської дисертації	01.12.2021	виконано

Студент

Данило ЛОВЕЙКІН

Науковий керівник дисертації

Валерій ЯВІСЯ

РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської атестаційної дисертації: 89 с., 60 рис., 29 табл. та 20 джерел.

Актуальність: Сучасні мобільні мережі досить швидко збільшуються і так саме швидко розвиваються. Це може будити обумовлено тим, що на сьогодні на ринку телекомунікаційних послуг існує висока конкуренція між операторами мобільного зв'язку. Крім того, активна апаратна частина радіомережі постійно модернізується і технологічні виробники-гіганти щорічно презентують більш технологічно сучасні та більш економічні вигідні рішення для операторів мобільного зв'язку.

Мобільні мережі висувають досить жорсткі вимоги до проектування. Оскільки мобільна мережа швидко зростає, необхідно для максимальної фінансової вигоди максимально швидко і точно спроектувати модель мобільної мережі. Саме для таких задач використовують ПЗ Forsk Atoll.

Forsk Atoll являти собою спеціалізоване програмне забезпечення для проектування стільникових мереж RAN для технологій радіодоступу 3GPP таких як: LTE, NB-IoT, UMTS, GSM і CDMA. Функції та налаштування Forsk Atoll допомагають операторам вільно планувати свою стільникову мережу, використовуючи найрізноманітніші конфігурації базових станцій. Результатом роботи програми є візуалізація приблизного радіопокриття на карті місцевості, яку створює модельована базова станція. Розрахунок зображатися на карті у вигляді областей, розділені на різні рівні по потужності сигналу.

Під час роботи, програма враховує ландшафт місцевості, та забудову міста будинками, використовуючи 3D карту з висотами, що позитивно впливає на точність розрахунку, дозволяючи врахувати заваду під час проектування стільникової мережі.

Мета роботи: Підвищення точності розрахунку моделі радіопокриття в мобільних мережах зв'язку

Об'єкт дослідження: Мобільна мережа четвертого покоління LTE

Предмет дослідження: Розрахункові моделі програмного забезпечення Forsk Atoll

Завдання роботи: 1) Проектування та розрахунок покриття віртуальної стільникової мережі. 2) Аналіз результатів розрахунків програми Forsk Atoll на правдивість. 3) Запис хронології показників рівнів потужності сигналу стільникової мережі. 4) Калібрування розрахункової моделі Forsk Atoll, базуючись на записаних показниках вже розгорнутої мобільної мережі LTE

Новизна: Методика калібрування розрахунків покриття стільникових мереж.

Структура роботи. Робота складається із реферату, змісту, списку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, загального висновку та списку використаних джерел.

Ключові слова: Forsk Atoll, калібрування моделей радіопокриття, LTE, QoS.

ABSTRACT

Text part of the master's attestation dissertation: 89 p., 60 fig., 29 tab. and 20 sources.

Modern mobile networks are growing rapidly and are developing just as fast. This may be due to the fact that today in the market of telecommunications services there is high competition between mobile operators. In addition, the active hardware of the radio network is constantly being upgraded and the technology giants annually present more technologically advanced and more cost-effective solutions for mobile operators.

Mobile networks have quite strict design requirements. As the mobile network grows rapidly, it is necessary to design a mobile network model as quickly and accurately as possible for maximum financial benefit. Forsk Atoll software is used for such tasks.

Forsk Atoll is a specialized software for designing RAN cellular networks for 3GPP radio access technologies such as LTE, NB-IoT, UMTS, GSM and CDMA. Forsk Atoll features and settings help operators freely plan their cellular network using a variety of base station configurations. The result of the program is the visualization of approximate radio coverage on a map of the area, which creates a simulated base station. The calculation is depicted on the map in the form of areas divided into different levels by signal strength.

During the work, the program takes into account the landscape and the construction of the city with houses, using a 3D map with heights, which has a positive effect on the accuracy of the calculation, allowing you to take into account interference when designing a cellular network.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ РАДІОДОСТУПУ LTE	12
1.1 Загальна структура мереж LTE.....	12
1.2 Підходи до управління ресурсами мережі.....	14
1.3 Критерії якості для різних видів послуг в мережі LTE	21
1.4 Основні показники мережі радіодоступу LTE	25
1.5 Індикатори стільників eNodeB.....	31
Висновок	35
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ ТА РОЗРАХУНОК РАДІОПОКРИТТЯ.....	37
2.1 Відомості про програмний засіб Forsk Atoll	37
2.2 Планування віртуальної стільникової мережі з використанням програмного засобу Forsk Atoll	38
2.3 Розрахунок покриття з використанням програмного засобу Forsk Atoll.....	44
2.4 Алгоритм автоматичного планування частоти AFP	46
Висновок	48
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ РАДІОПОКРИТТЯ.....	49
3.1 Запис хронології показників рівнів потужності сигналу стільникової мережі за допомогою тестового пристрою.....	49
3.2 Розрахунок покриття мобільної мережі LTE програмою Forsk Atoll.....	54
3.3 Калібрування розрахункової моделі Forsk Atoll	67
Висновок	70
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	71
4.1 Опис ідеї проєкту	71
4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту.....	73

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	74
4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	82
Висновок	86
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

LTE	Long-Term Evolution
ETSI	Європейський Інститут Стандартів Телекомунікацій
3GPP	The 3rd Generation Partnership Project
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
SAE	System Architecture Evolution
EPS	Evolved Packet System
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access
UE	User Equipment
MME	Mobility Management Entity
SGW	Serving Gateway
PGW	Public data Gateway
HSS	Home Subscribe Server
PCRF	Policy and Charging Rules Function
QoS	Quality of service
eNB	Evolved-NodeB
FDD	Frequency-division duplexing
TDD	Time Division Duplex
MCS	Modulation and Coding Scheme
TBS	Transport Block Size
CP	Cyclic Prefix
CQI	Chanel Quality Indicator
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
SINR	Signal to Interference + Noise Ratio
QCI	QoS Class Identifier
QoE	Quality of Experience

ВСТУП

Системи мобільного зв'язку четвертого покоління були визначені у третьому поколінні стандарту 3GPP у 8-му (LTE), та у 9-му (LTE-Advanced) випуску відповідно. Перше своє використання мережі LTE отримали ще у 2010 році, й залишаються актуальними по цей момент [7]. Мережі LTE запропонували операторам мобільного зв'язку отримати вищу надійність та сумісність, гнучкість й безпеку у порівнянні з минулими стандартами зв'язку 3G та 2G. Для кінцевого користувача мережі LTE можуть запропонувати послуги мобільного зв'язку зі швидкостями передачі даних до 1 Гбіт/с, з дотриманням високого рівнем якості та меншими затримками в передачі даних.

Основною відмінністю від мереж минулого покоління в мережах LTE, є застосування на фізичному рівні методу мультиплексування OFDM, в якому ортогональні піднесучі розташовуються близько один до одного з низькою символною швидкістю. Потік вихідних даних для приймання/передавання розділяється на декілька паралельних потоків, кожен з яких є ортогональним один до одного [2]. Це допомагає виключити взаємні завади, які можуть виникати між потоками, та дозволяє розташовувати піднесучі максимально щільно в частотному спектрі. Модуляція піднесучих може відбуватися за стандартною схемою модуляції, наприклад QAM. До основних переваг використання технології OFDM можна віднести: високу спектральну ефективність, простоту реалізації, ефективну роботу під час складних умов в радіоканалі, та можливість усувати міжсимвольну інтерференцію [2]. До істотних недоліків даної технології модуляції, можна віднести високі вимоги до синхронізації по частоті та часу, обмежену спектральну характеристику при використанні широкої смуги частот, надзвичайну чутливість до зсуву частоти, викликаного ефектом Допплера. Допплерівське зміщення частоти відбувається під час руху об'єкта зв'язку, значно знижуючи ефективність передачі й приймання сигналів, що надзвичайно актуально для автомагістралей та залізничних шляхів.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ РАДІОДОСТУПУ LTE

1.1 Загальна структура мереж LTE

Мережа LTE використовує нову системну архітектуру SAE, яка була розроблена консорціумом 3GPP для LTE. Мережа функціонує за принципом All IP Network, тобто повністю побудована на IP мережі, що виключає необхідність в комутації каналів під час голосових дзвінків. Так само спрощена архітектура знижує матеріальні витрати, у випадку, якщо необхідно збільшити пропускну здатність системи [1].

Архітектуру SAE можна розділити на дві частини, виділивши систему радіо доступу E-UTRAN та мережі оператора EPS.

Структурна схема мережі представлена на рисунку 1.1

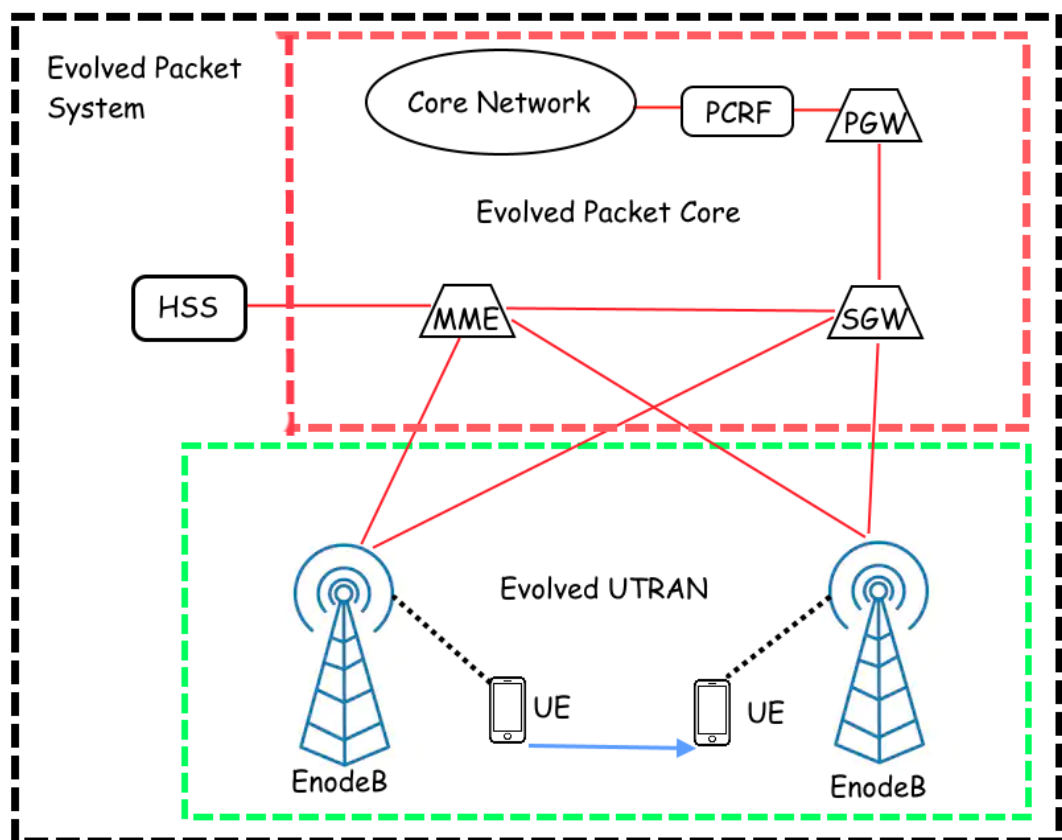


Рис. 1.1 Структура мережі LTE

Розглянемо компоненти мережі EPS:

- MME – вузол мережі, через який проходить сигнальний трафік від ядра мережі до UE. Через цей вузол відбувається управління сесіями UE під час переміщення абонента, а також при його знаходженні в роумінгу [1];
- SGW — виконує маршрутизацію трафіку і пакетну комутацію. Відправляє повідомлення PCRF про початок з'єднання і про його завершення;
- PGW – виділяє IP адреси для UE, здійснює фільтрацію IP пакетів, що надходять, на різні потоки з конкретним набором QoS [1];
- HSS – основна база даних про абонентів в мережі LTE, служить для зберігання призначених для користувача номерів та адресної інформації, інформацію про профілі абонента і його зразкове місце розташування. Також HSS генерує дані, які необхідні для шифрування та аутентифікації [1] ;
- PCRF - вузол мережі, який відстежує переданий трафік і забезпечує тарифікацію. За своєю суттю представляє сервер, який оцінює доступні ресурси мережі й відправляє в PGW команди, які задають вимоги до якості послуг [1] ;

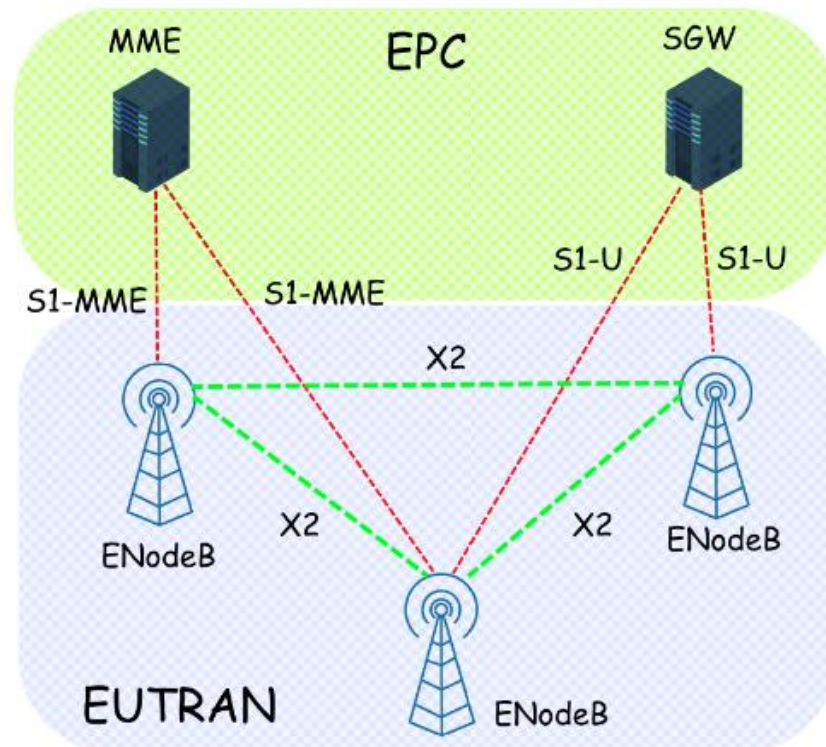


Рис. 1.2 Архітектура E-UTRAN

Архітектура E-UTRAN базується на побудові мережі радіодоступу з використанням нових базових станцій eNB, де взаємодія між базовими

станціями відбувається за допомогою інтерфейсу X2, а підключення до EPS (рис. 1.2) відбувається за допомогою інтерфейсу S1. При цьому, eNB може мати з'єднання з декількома SGW [2]. eNB виконують функцію базових станцій і контролерів мережі минулих поколінь:

- Передають трафік і забезпечують синхронізацію радіоканалу;
- Контролюють рівень перешкод в стільнику;
- Забезпечують наскрізний канал трафіку до SGW, його шифрування й цілісність даних під час передачі;
- Проводять стиснення заголовків IP пакетів;
- Здійснюють підтримку послуг мультимедійного мовлення;
- Здійснюють вибір MME й організовують сигнальний обмін з ним.

Мережеві інтерфейси E-UTRAN використовують відкриті стандарти, завдяки чому вузли eNB від різних постачальників можуть функціонувати між собою в рамках однієї мережі – використовуючи інтерфейс X2, елементи EPS та з'єднання S1, як і було зазначено вище. Взаємодія з вузлом управління мобільністю MME відбувається за допомогою інтерфейсу S1-MME, а в призначеній для користувача площині використовують тунельний протокол на рівні L2.

1.2 Підходи до управління ресурсами мережі

Для синхронізації E-UTRAN використовують кадри з тривалістю

$$T_s = \frac{1}{1500 \cdot 2048} [c], \text{ а передача даних по радіоканалу відбувається}$$

кадрами довжиною в 10 мс, що становить 307200 тактових одиниць T_s . Існують дві структури кадрів: при роботі з частотним дуплексом FDD і при роботі з часовим дуплексом TDD [2].

Сам кадр складається з двадцяти тимчасових слотів, з номерами від 0 до 19. Кожен зі слотів має довжину в $15360 T_s$, що дорівнює 0,5 мс (рис 1.3). Два слоти, що розташовуються послідовно, складають один субкадр. Загальна кількість субкадрів складає 10 – з порядковими номерами від 0 до 9.

На рисунку 5 зображена структура кадру при частотному дуплексі. Передача вгору і вниз розділена двома окремими кадрами (рис. 1.4).

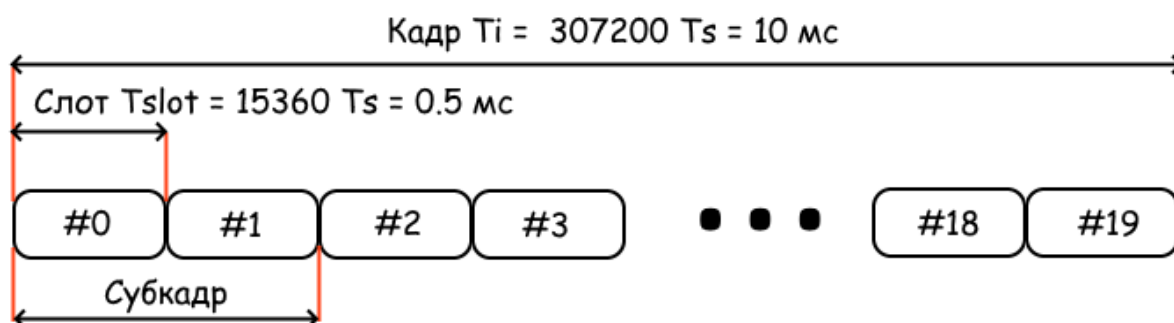


Рис. 1.3 Структура кадру FDD

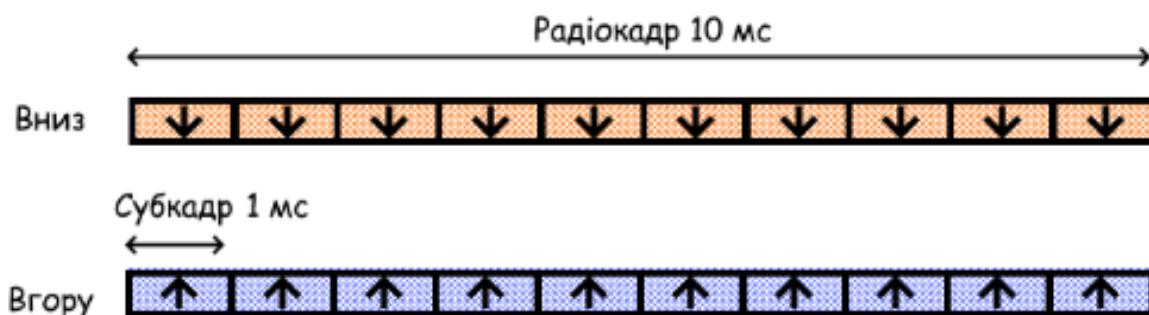


Рис. 1.4 Передача вгору та вниз

Розглянемо тепер структуру кадру при тимчасовому дуплексі. Тривалість кадру залишилася та ж – 10 мс, і в ньому міститься, як і раніше, 10 субкадрів з довжиною в 1 [мс]. Але, на відміну від FDD, в деяких субкадрах TDD йде передача вниз (D), в інших вгору (U). Існує ще третій вид субкадрів (S), які складаються з таких полів: DwPTS – поля передачі вниз, UpPTS – поля передачі вгору, захищений інтервал (GP) (рис. 1.5)[2]. Можливі сім конфігурацій кадру при часовому дуплексі: (табл. 1.1).

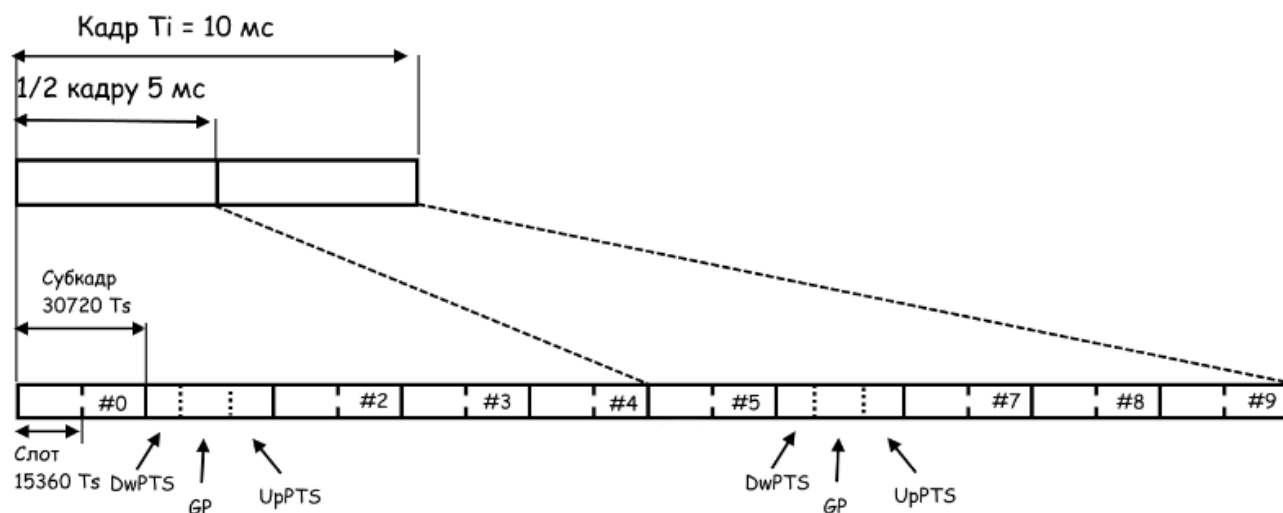


Рис 1.5 Структура кадру TDD

Таблиця 1.1

Конфігурації кадру TDD

Конфігурація вгору-вниз	Періодичність вгору-вниз										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 мс	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 мс	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 мс	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 мс	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 мс	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 мс	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 мс	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

У каналі стандарту E-UTRA відстань між піднесучими OFDM становить $\Delta F = 15$ кГц, отже довжина символу OFDM становить $\frac{1}{15000} = 66,7$ мкс. У кожному слоті (половині субкадру) передають 7 OFDM символів, в залежності від значення паузи між символами. Дана пауза називається циклічним префіксом CP, тривалість якого становить $160 T_s = 5,2$ мкс перед першим символом і $144 T_s = 4,7$ мкс перед іншими символами. [5] Існує варіант конфігурації, який складається з 6 OFDM символів, в якому

тривалість префікса дорівнює $512 T_s$ або 16,7 мкс. Відповідно від використовуваного варіанта циклічного префікса, можливі 9 конфігурацій спеціальних субкадрів S при тимчасовому дуплексі (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Конфігурація субкадрів TDD

Конфігурація субкадрів S	Нормальний CP вниз			Розширений CP вниз		
	DwPTS	UpPTS		DwPTS	UpPTS	
	T_s	Нормаль- ний CP вниз T_s	Нормаль- ний CP вгору T_s	T_s	Нормаль- ний CP вниз T_s	Нормаль- ний CP вгору T_s
0	6592	2192	2560	7680	2192	2560
1	19760			20480		
2	21952			23040		
3	24144			25600		
4	26336			7680		
5	6592	4384	5120	20480	4384	5120
6	19760			23040		
7	21952			-	-	-
8	24144			-	-	-

Канальний ресурс розділений на ресурсні блоки. Кожен такий блок складається з 12 послідовних піднесучих, займає смугу 180 кГц з 6 або 7 OFDM-символів з часовим інтервалом 0,5 мс. [5] Ресурсним елементом називають OFDM символи, які можна точно ідентифікувати в ресурсному блоці послідовно частоти піднесучих (вісь частоти) і за номером символу (часова вісь). Всього в кожному нормальному блоці $12 \times 7 = 72$ ресурсних елементів (рис. 1.6).

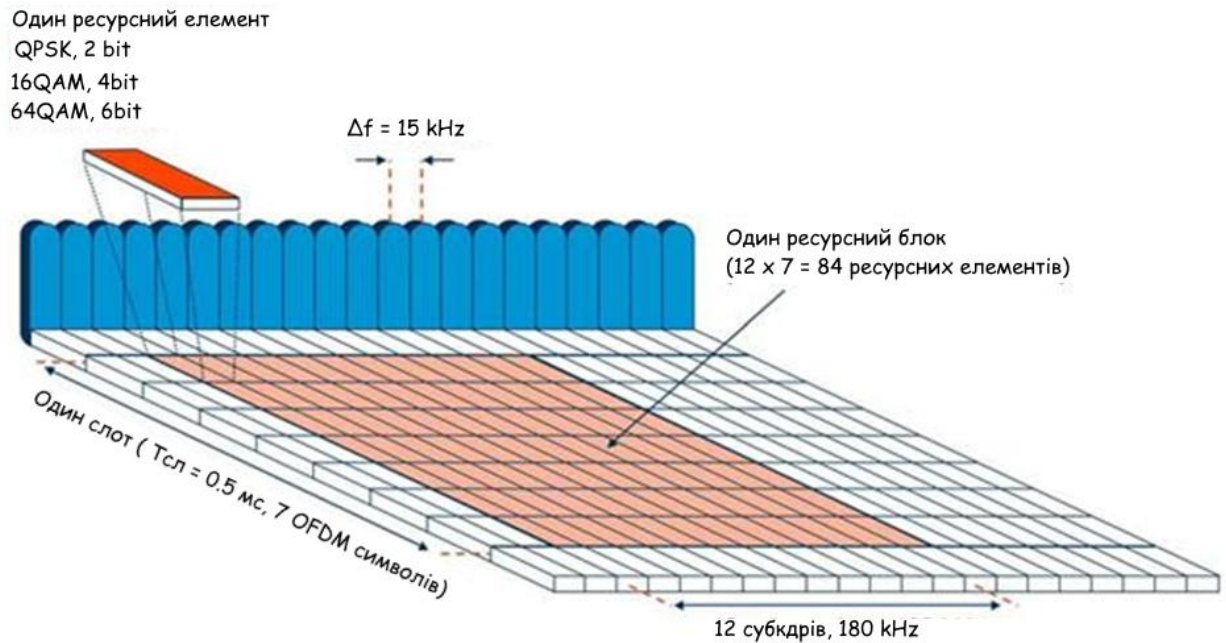


Рис.1.6 Структура ресурсного блоку

При передачі інформації від eNB, частина ресурсних елементів йде на передачу опорних символів, отже максимальна швидкість передачі зменшуються. Опорні символи використовуються для організації когерентної демодуляції та проведення оцінки каналу.

Для розрахунку пропускної здатності мережі LTE, необхідно визначити наступні умови:

- **Ширина каналу.** Розглядаючи специфікацію 3GPP щодо допустимої конфігурації ширини каналу, можна відзначити, що мережа LTE підтримує тільки фіксовану ширину каналу в 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 МГц. Швидкість передачі даних залежить від кількості ресурсних блоків, а вже кількість ресурсних блоків – від ширини каналу зв'язку [1-2]. Нижче наведена таблиця для порівняння кількості ресурсних блоків від використаної ширини каналу (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Порівняння ширини каналу з кількістю ресурсних блоків

Ширина каналу, МГц	1.4	3	5	10	15	20
Кількість ресурсних блоків	6	15	25	50	75	100

• Якість каналу. Якість радіоканалу розраховується в залежності від радіоумов, в яких перебуває абонент, визначаючи оптимальну схему модуляції MCS – Чим вищий порядок має модуляційна схема, тим більшу кількість біт можливо передати за одиницю часу. Для відображення розмір транспортного блоку використовують TBS індекси, вони показують яку кількість даних в бітах можливо передати за одиницю часу TTІ [1 мс] [5](табл. 1.4).

Таблиця 1.4

MCS індекси

MCS індекс	Модуляція	TBS індекс	MCS індекс	Модуляція	TBS індекс	MCS індекс	Модуляція	TBS індекс
0	QPSK	0	10	16 QAM	9	21	64 QAM	19
1		1	11		10	22		20
2		2	12		11	23		21
3		3	13		12	24		22
4		4	14		13	25		23
5		5	15		14	26		24
6		6	16		15	27		25
7		7	17	64 QAM	15	28		26
8		8	18		16	29	QPSK	Заре- зерво- вано
9		9	19		17	30	16 QAM	
			20		18	31	64 QAM	

Для того, щоб узгодити вибір модуляційної схеми, мобільна станція вимірює якість сигналу в каналі зв'язку і надсилає показники CQI для базової станції і вже від залежності цих показників, базова станція обирає кодово-модуляційну схему (табл. 1.5).

Таблиця 1.5

CQI індекси															
Модуляція	QPSK						16QAM			64QAM					
CQI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Розглянемо приклад розрахунку максимальної швидкості в мережі LTE для одного абонента, який знаходиться в ідеальних радіоумовах, з шириною каналу зв'язку 10 МГц. Використовуючи таблицю (номер), визначаємо кількість ресурсних блоків, що будуть залучені для передачі: для ширини каналу в 10 МГц – це 50 блоків.

Ідеальними радіоумовами будемо вважати випадок, коли MCS індекс дорівнює 28 та TBS індекс 26, відповідно. Знаючи кількість ресурсних блоків та TBS індекс, можна визначити розмір транспортного блоку, відповідно до специфікації 3GPP TS 36.213 version 12.3.0 Release 12.

З наведеної таблиці легко визначити розмір блоку, у нашому випадку він буде складати 36696 бітів [5]. Ділимо це значення на один тактовий інтервал (одну мілісекунду), отримуємо швидкість в бітах за одну секунду:

$$\frac{36696}{0,001} = 36696 * 1000 = 36696000 \text{ [біт/с]}$$

Враховуючи, що в одному мегабіті 1048576 бітів, отримаємо:

$$\frac{3669600}{1024 * 1024} = 34.99 \text{ [Мбіт/с]}$$

Розмір TBS блоку; сторінка 54 стандарту 3GPP TS 36.213 version 12.3.0 [8]

Release 12

I_{TBS}	N_{PRB}									
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
0	1128	1160	1192	1224	1256	1256	1288	1320	1352	1384
1	1480	1544	1544	1608	1608	1672	1736	1736	1800	1800
2	1800	1864	1928	1992	2024	2088	2088	2152	2216	2216
3	2408	2472	2536	2536	2600	2664	2728	2792	2856	2856
4	2984	2984	3112	3112	3240	3240	3368	3496	3496	3624
5	3624	3752	3752	3880	4008	4008	4136	4264	4392	4392
6	4264	4392	4584	4584	4776	4776	4968	4968	5160	5160
7	4968	5160	5352	5352	5544	5736	5736	5992	5992	6200
8	5736	5992	5992	6200	6200	6456	6456	6712	6968	6968
9	6456	6712	6712	6968	6968	7224	7480	7480	7736	7992
10	7224	7480	7480	7736	7992	7992	8248	8504	8504	8760
11	8248	8504	8760	8760	9144	9144	9528	9528	9912	9912
12	9528	9528	9912	9912	10296	10680	10680	11064	11064	11448
13	10680	10680	11064	11448	11448	11832	12216	12216	12576	12960
14	11832	12216	12216	12576	12960	12960	13536	13536	14112	14112
15	12576	12960	12960	13536	13536	14112	14688	14688	15264	15264
16	13536	13536	14112	14112	14688	14688	15264	15840	15840	16416
17	14688	15264	15264	15840	16416	16416	16992	17568	17568	18336
18	16416	16416	16992	17568	17568	18336	18336	19080	19080	19848
19	17568	18336	18336	19080	19080	19848	20616	20616	21384	21384
20	19080	19848	19848	20616	20616	21384	22152	22152	22920	22920
21	20616	21384	21384	22152	22920	22920	23688	24496	24496	25456
22	22152	22920	22920	23688	24496	24496	25456	25456	26416	27376
23	23688	24496	24496	25456	25456	26416	27376	27376	28336	28336
24	25456	25456	26416	26416	27376	28336	28336	29296	29296	30576
25	26416	26416	27376	28336	28336	29296	29296	30576	31704	31704
26	30576	30576	31704	32856	32856	34008	35160	35160	36696	36696

1.3 Критерії якості для різних видів послуг в мережі LTE

Розглянемо показники QoS, що характеризують загальну якість послуг, які надає комунікаційна мережа. Самі QoS розділяють всі послуги на дев'ять типів, кожному з яких відповідають індикатори QCI (табл. 1.7). Своєю чергою, канали, які використовуються для передачі трафіку, поділяються на дві групи: з гарантованою швидкістю передачі GBR та з не гарантованою швидкістю передачі Non-GBR [15].

Таблиця 1.7

Види QCI

QCI	Тип ресурсу	Пріоритет	Затримка (мс)	PERL	Послуги
1	GBR	2	100	10^{-2}	Телефонія в режимі реального часу
2		4	150	10^{-3}	Відеозв'язок
3		3	50	10^{-3}	Ігри в режимі реального часу
4		5	300	10^{-6}	Відео з буферизацією
5	Non-GBR	1	100	10^{-6}	Сигналізація в мережі (IMS)
6		6	300	10^{-6}	TCP / IP послуги для пріоритетних користувачів
7		7	100	10^{-3}	Аудіо, відео в режимі реального часу
8		8	300	10^{-6}	Відео з буферизацією, TCP / IP послуги
9		9		10^{-6}	

Послуги класів QoS 1,2, 3 і 7 – це послуги, що надаються абоненту в реальному часі за протоколом UDP/IP. Основним чутливим фактором, який впливає на їх реалізацію, є допустима затримка в доставленні пакетів. Значення PERL вказує на надійність передачі пакетів та вимірюється відносною величиною загублених пакетів. Для протоколу передачі TCP/IP цей показник найнижчий, що вказує на його високу надійність. Варто відзначити, що при передачі даних з гарантованою швидкістю, базова станція повинна керувати ресурсами мережі в динамічному режимі. Використовуючи технологію QoS можливо гарантувати передачу інформації в повному об'ємі для окремого виду трафіку. Для оцінки сприйняття користувачем якості послуг зв'язку, вводять поняття QoE (рис. 1.7). Оцінка сприйняття залежить від кількох факторів, як суб'єктивних, так і об'єктивних. До об'єктивних факторів відносять QoS, оскільки в першу чергу, користувачі помічають

недоліки в наданих послугах відповідно до продуктивності та стабільності мережі. Це може бути спотворення чіткості зображення під час перегляду відео чи наявність додаткових шумів при телефонному зв'язку (рис. 1.8).

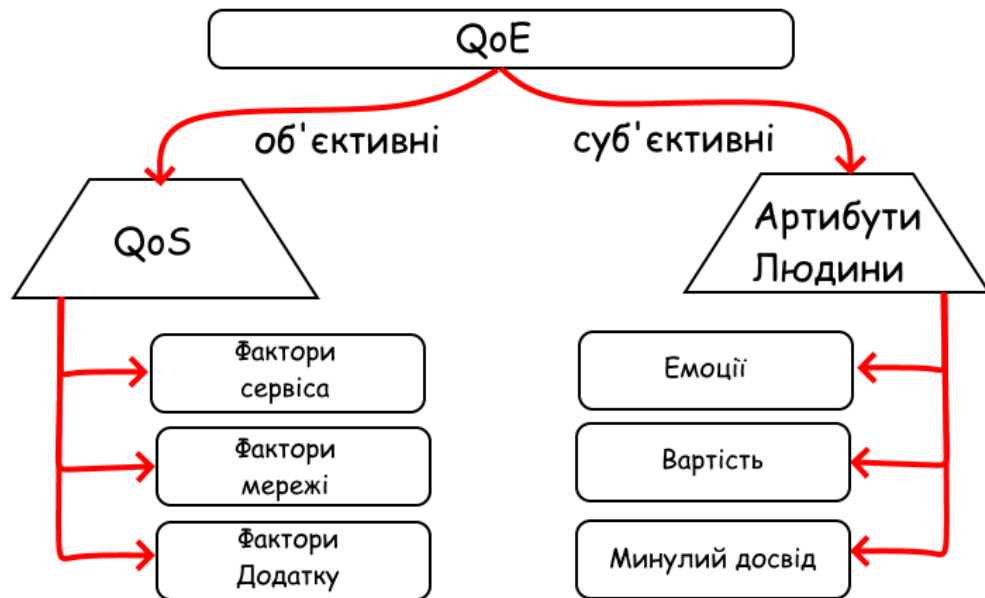


Рис. 1.6 Оцінка QoE



Рис. 1.7 Оцінка часу затримки додатку

Для оцінки якості мобільної мережі під час голосового виклику використовують так звану Е-модель, згідно з рекомендацією ITU-T G.107 [6].

Для цього вводять коефіцієнт оцінки якості передачі, котрий об'єднує всі параметри передачі, які мають відношення до цього з'єднання.

Даний коефіцієнт можна представити наступною формулою:

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e - eff + A,$$

де R_o - співвідношення сигнал/шум;

I_s – гучність голосу під час розмови в кані зв’язку;

I_d – рівень спотворень, що викликані затримкою сигналу;

$I_e - eff$ – коефіцієнт зниження ефективності обладнання, що спричинене зниженням якістю кодеків з низькою бітовою швидкістю;

A – рівень допустимого зниження якості QoE, з яким користувач згоден миритися;

На оцінку якості відео впливають фактори контрастності, яскравості та наявності спотворень зображення. Для якісної оцінки відео можуть використовуватися спеціальні програмні засоби, котрі знаходять в відео дефекти та зайвий шум.

До методів оцінки якості мережі радіодоступу можна віднести:

- Метод оцінки та обробки мережевої статистики.
- Драйв-тести мережі.
- Програмні засоби на абонентському обладнанні.

Розглянемо більш детально кожний із цих методів, а також їх переваги та недоліки. Мережева статистика збирається з результатів роботи UTRAN, обробляється і виводиться у вигляді показників KPI які дозволяють не тільки надати загальну оцінку ефективності роботи мережі, а й провести аналіз в окремому місці. До суттєвих недоліків такого способу оцінки можна віднести високу розбіжність з реальною моделлю. Подібний спосіб використовується для грубої оцінки, або у комбінації з наступними способами.

Драйв-тести – один із методів тестування мережі. Результати подібного тестування максимально наближені до реального стану мережі під час щоденної роботи. Використовуючи спеціальне мобільне обладнання та програмні заходи, кваліфікованою командою спеціалістів відбувається замір та фіксація показників в мережі. Це може бути як і звичайна перевірка значень рівнів сигналу від базової станції, так і детальний тест

функціонування мережі в залежності від спрямованого типу трафіку, наприклад: тест голосових дзвінків, якості відео, швидкості завантаження тощо. Після виконання подібного тесту, його результати ретельно аналізуються в програмах, котрі дозволяють візуалізувати його результати відповідно маршруту замірів. Такий підхід дозволяє точно ідентифікувати проблеми в мережі, однак сам по собі являється досить ресурсомістким. Крім того, існує ще один суттєвий недолік – загалом, драйв-тести оцінююся зі сторони дороги, з якої й був проведений тест.

Останній підхід – програмі засоби на абонентському обладнанні, комбінує у собі попередні два. Тестування якості мережі відбувається скрізь, де абонент використовує послуги зв'язку. Подібні виміри будуть максимально наближені до кінцевого користувача, однак будуть залежати від його мотивації під час проведення тесту. Крім того, обладнання, яке використовує абонент, може просто не підтримувати повний функціонал оператора. Такий спосіб тестування не застосовується настільки часто, як перші два, однак дуже зручний для локальної оцінки стану мережі під час обробки скарг від абонента.

1.4 Основні показники мережі радіодоступу LTE

Розглядаючи мережу E-UTRAN, неможливо не розглянути взаємодію між базовою станцією eNodeB та термінальним обладнанням користувача UE.

Для оцінки потужності отриманого сигналу використовують індикатор потужності RSSI (Received Signal Strength Indicator). Індикатор потужності RSSI вимірює середню потужність приймального сигналу в символах OFDMA у смузі вимірювання яка складається з N ресурсних блоків [18].

Загальна приймальна потужність RSSI враховує потужність випромінювання від обслуговуючих та необслуговуваних стільників у суміщеному радіоканалі, інтерференційні завади від сусіднього каналу та

тепловий шум. Сумарне значення RSSI вимірюється по 12 піднесущим, враховуючи опорні сигнали від обслуговуючого стільника.

Показник RSRP (Reference Signal Received Power) зображає середнє значення потужності прийнятих опорних сигналів RS від базової станції. Значення RSRP вимірюється в дБм (dBm), при значеннях RSRP= -120 dBm і нижче LTE-підключення може бути нестабільним або взагалі не встановлюватися.

Показник RSRQ характеризує якість опорних сигналів, вимірюються в дБм. Опорні сигнали використовуються для оцінки деформації вихідного сигналу заздалегідь відомої форми, в залежності від різних завад, які знаходяться в каналі зв'язку.

$$RSRQ = N \times \frac{RSRP}{RSSI}$$

Де, N – це кількість блоків фізичних ресурсів (PRB), за якими вимірюється RSSI, зазвичай дорівнює пропускній здатності системи

RSSI – широкосмугове вимірювання потужності, включаючи потужність всередині радіоканалу, перешкоди та шум. Діапазон показника RSRQ визначається від -3...-19,5 дБ.

Показник SINR зображає відношення рівня корисного сигналу до рівня шуму, вимірюється в дБ.

$$SINR = S / (I + N)$$

Де S - потужність сигналу; I - інтерференція; N – потужність шуму; В таблиці 1.8 зображені рівні сигналу та їх допустимі значення.

Таблиця 1.8

Якість сигналу

Якість сигналу	RSRP (дБ)	RSRQ (дБ)	SINR (дБ)
Відмінний	≥ -80	≥ -10	≥ 20
Задовільний	$-80 \geq -90$	$-10 \geq -15$	$20 \geq 13$
Поганий	$-90 \geq -100$	$-15 \geq -20$	$13 \geq 0$
Дуже поганий	≤ -100	< -20	≤ 0

Основою перевагою стільникових мереж перед класичними дротовими мережами, можна вважати високу мобільність термінального обладнання для абонента мережі [12]. Для підтримки високих показників QoS, мобільна мережа повинна постійно адаптуватися до місцезнаходження абонента, автоматично перемикаючи термінальне обладнання абонента до найбільш наближених базових станцій мережі багатостанційного радіодоступу. Така процедура називається хендовером (рис. 1.9).

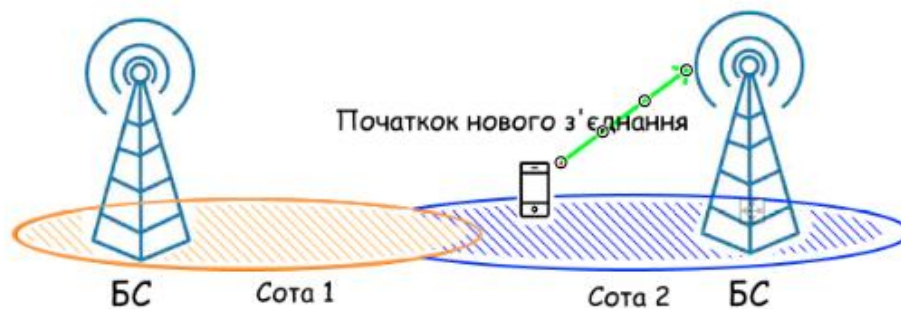
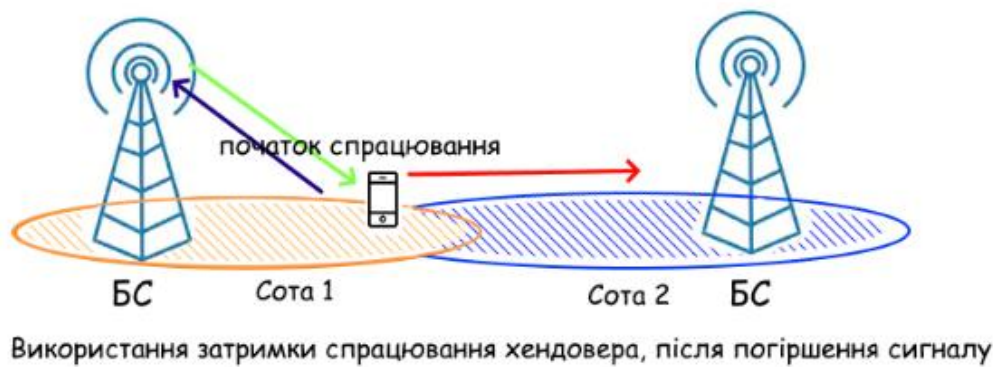


Рис. 1.9 Процедура хендовера

Хендовер використовується для того, щоб забезпечити якісне і неперервну передачу даних через мобільну мережу під час руху або в режимі очікування. Процедура хендовера базується на вимірюванні приймачем абонентського термінала рівнів сигналу від базових станцій. Базова станція повідомляє UE, коли необхідно відправляти повідомлення про вимірювання рівня вхідного сигналу (Measurement reports), використовуючи повідомлення RRC Connection Reconfiguration [11].

Умовою для надсилання подібних звітів виступають прапори A1-A5. Прапори містять перелік критеріїв для спрацювання, а також їх сценарій зміни та спрацювання. При спрацьовуванні одного з прапорів, UE відправляє повідомлення для базової станції, в якому вказує ідентифікатори обслуговуючої та сусіднього стільника, а також зміну рівня сигналу і його якості. Для спрацьовування прапора необхідно, щоб зміни, які відбулися з

якісною характеристикою сигналу були зафіксовані протягом деякого часу (time-to-trigger).

Залежно від обраної затримки, можливо домогтися своєчасного рішення про зміну обслуговуючого стільника під час різних сценаріїв роботи. Тривалість спрацьовування прапора може набувати таких значень: 0, 40, 64, 80, 100, 128, 160, 256, 320, 480, 512, 640, 1024, 1280, 2560, 5120 [мс]. Варто відзначити, що при низькому значенні часу затримки може з'явитися ефект ping-pong. Він проявляється в тому, що рішення про зміну обслуговуючого стільника будуть прийматися поспіхом, в результаті чого UE буде постійно змінювати з'єднання між стільниками базових станцій, в яких рівень сигналу приблизно однаковий. Подібне "залипання" часто спостерігається на межах перетину покриття стільників і створює затримки для абонента.

Розглянемо більш детально умови, при яких спрацьовують прапори в стандарті LTE:

- Прапор A1: рівень сигналу від обслуговуючої базової станції перевищив визначений поріг.
- Прапор A2: рівень сигналу від обслуговуючої базової станції погіршився відносно порогового значення.
- Прапор A3: рівень сигналу від сусідньої базової станції покращився, у порівнянні з рівнем сигналу від обслуговуючої базової станції на задане значення.
- Прапор A4: рівень сигналу від сусідньої базової станції перевищив встановлений поріг.
- Прапор A5: рівень сигналу від обслуговуючої базової станції погіршився відносно визначеного порогу – у той час, як рівень сигналу від сусідньої базової станції перевищив вказаний поріг.

Можна зробити висновок, що для опису процесу хендвера найбільше підходять прапори A3 та A5, оскільки вони у собі одночасно враховують рівень сигналу від обслуговуючої базової станції та від сусідньої. Граничне значення для спрацьовування прапора може бути висталено в залежності від

того, де саме використовується базова станція. Наприклад, в місті щільність мобільної мережі вище, ніж за його межами, тож якість каналу зв'язку в населеному пункті буде гірше, ніж на відкритій місцевості через вплив шумових перешкод та інших завад. Це створює відповідні вимоги під час налаштування і вибору оптимального порогового значення.

При детальному розгляді умов для спрацювання прапора A3 (рис. 1.10) необхідно забезпечивши умову :

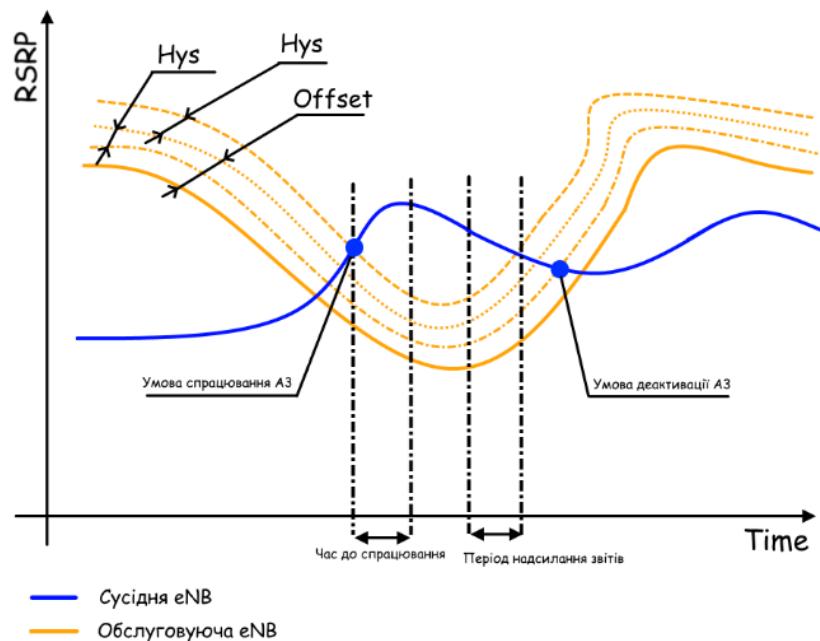


Рис. 1.10 Прапор A3

$$\begin{aligned}
 & Meas_{neigh} + O_{neighfreq} + O_{neighcell} - Hyst \\
 & > Meas_{serv} + O_{servfreq} + O_{servcell} + Offset
 \end{aligned}$$

- $Hyst$ – гістерезис значення, яке використовується для того, щоб уникнути частого перемикування. Може приймати величину в діапазоні 0...20 дБ.
- $Meas_{neigh}$ – значення потужності сигналу обслуговуючої базової станції.
- $Meas_{serv}$ – значення потужності сигналу сусідньої базової станції.

- $O_{neighfreq}$ та $O_{servfreq}$ – встановлює пріоритет для частот, на яких працює обслуговуюча базова станція та сусідня.
- $O_{neighcell}$ та $O_{servcell}$ – встановлює пріоритет для обслуговуючої та сусідньої базової станції, приймає значення в діапазоні -24...24 дБ.
- $Offset$ – значення, яке зображає різницю між потужністю сигналу сусідньої базової станції та потужністю сигналу обслуговуючої.

Прапор A3 перестає бути активним, коли UE перестає надсилати звіти при умові :

$$Measneigh + Oneigh,freq + Oneigh,cell + Hyst < Measserv + Oserv,freq + Oserv,cell + Offset$$

1.5 Індикатори стільників eNodeB

Фізичний ідентифікатор Physical Cell ID є одним з найважливіших ідентифікаторів стільника в бездротовій мережі системи LTE – його правильне планування є важливим кроком для побудови мережі LTE. Правильне використання PCI дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів та QoS систем в LTE для кінцевих користувачів, так само як і його невдале планування знижує продуктивність окремого стільника та мережі загалом [11].

PCI – це фізичний ідентифікатор в мережі LTE, який надає можливість для унікальної ідентифікації, завдяки чому можливі різні стільники в самій мережі LTE. Він складається з двох компонентів: сигналу первинної синхронізації PSS та сигналу вторинної синхронізації SSS. (рис. 1.10)

Розглянемо більш детально складові цих двох сигналів:

- Primary Synchronization Signal (PSS) – сигнал, який необхідний для синхронізації TTI, слотам та OFDM символів між базовою станцією та UE.

Його передача відбувається в слотах з індексами 0 та 10 кожного субкадру, або 0 та 5 TTL, чи у кінці 7-го OFDM символу. Таким чином,

сигнал PSS передається двічі за 10 мс, і приймає значення в діапазоні від 0 до 2 для визначення часу субкадру.

- Secondary Synchronization Signal (SSS) – сигнал, що передається в слотах 0 та 10, як і PSS символи. Приймаючи сигнал SSS, UE абонента може визначити групу ідентифікаторів стільника, котрі можуть приймати значення від 0 до 167.

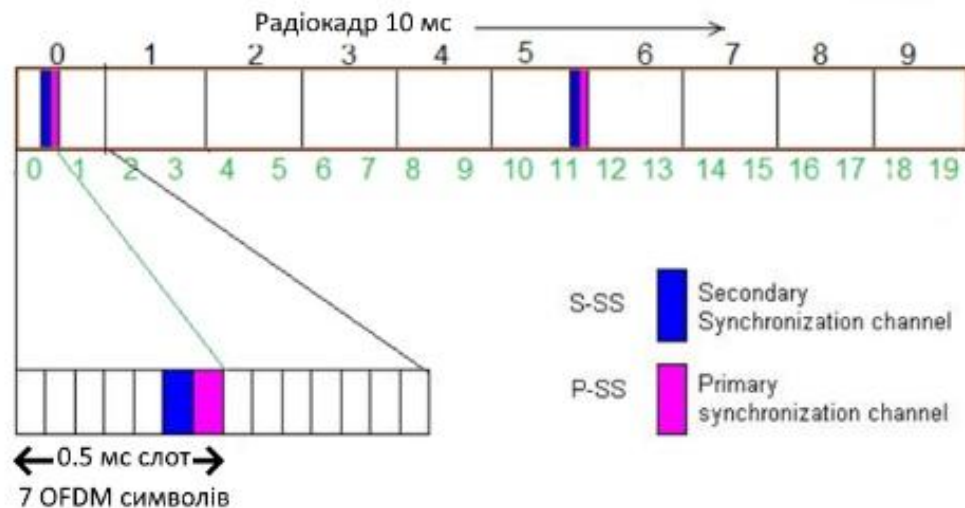


Рис. 1.10 Індеси SSS та PSS

Для розрахунку можливого діапазону PCI, використовують наступну формулу:

$$PCI = 3 * SSS + PSS.$$

$$PCI = 3 * 167 + 3,$$

$$PCI = 504.$$

- В даній формулі ми множимо SSS на 3, оскільки базова станція має три стільники, котрі розташовані через 120° один від одного для рівномірного покриття площі: $360^\circ / 120^\circ = 3$. Така конфігурація вважається стандартною для базової станції, тому і була використана для підрахунків.
- Оскільки PSS може приймати тільки значення 0, 1, 2 – це означає, що можливі три різні конфігурації, що ми й використали у формулі.
- Отримуємо, що PCI може приймати значення від 0 до 503, всього 504.

Приклад розрахунку реального PCI на базі SSS та PSS (рис. 1.11):

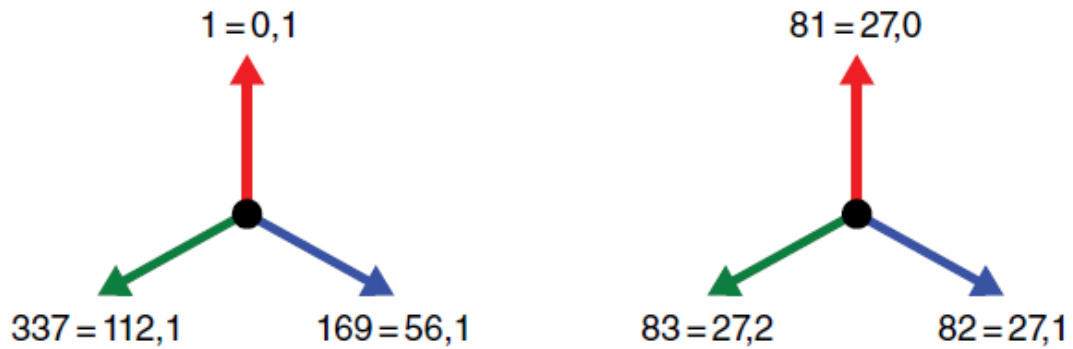


Рис. 1.11 Приклад індексів PCI на стільниках базової станції

Для створення початкового плану використовують різні програми, які враховують конфлікти зіткнення різних PCI й дозволяють без проблем використовувати їх повторно на деякому віддаленні один від одного. Однак мобільна мережа постійно розвивається шляхом інтеграції нових базових станцій, тому необхідно перепланувувати сценарій використання PCI (рис. 1.12).

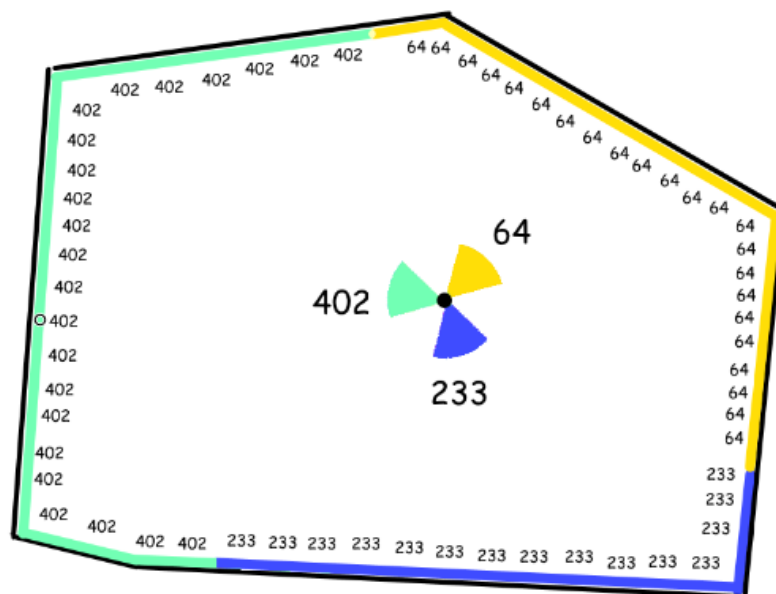


Рис. 1.12 Розподілення індексів PCI на площині покриття стільника

Якщо мобільна станція користувача зафіксує однакові PCI ідентифікатори з різних базових станцій, це спричиняє плутанину у під час

вибору необхідної базової станції. Якщо вибір виявися хибним, то мобільний пристрій починає передавати дані на базову станцію, яка не є оптимальною для нього – зазвичай така базова станція знаходиться на великому віддаленні від користувача і має дуже низьку якість каналу. Зрозуміло, що в такому випадку якість послуг мобільного зв'язку буде найнижча. Користувач може отримати суттєві затримки та обривами під час сеансу зв'язку. Подібні фактори суттєво знижують ефективність роботи самої мережі, крім того, передача повідомлення на велику відстань буде вимагати більші енергетичні затрати [11].

Приклад розподілення індексів PCI на чотири групи й використання їх на різних ділянках мережі (рис. 1.13, рис. 1.14)

Група 1	Група 2	Група 3	Група 4
0	126	252	378
1	127	253	379
2	128	254	380
3	129	255	381
4	130	256	382
5	131	257	383
6	132	258	384
7	133	259	385
8	134	260	386
9	135	261	387

	24	501	5
116	242	368	494
117	243	369	495
118	244	370	496
119	245	371	497
120	246	372	498
121	247	373	499
122	248	374	500
123	249	375	501
124	250	376	502
125	251	377	503

Зарезервовано

Рис. 1.13 Розбиття PCI на групи

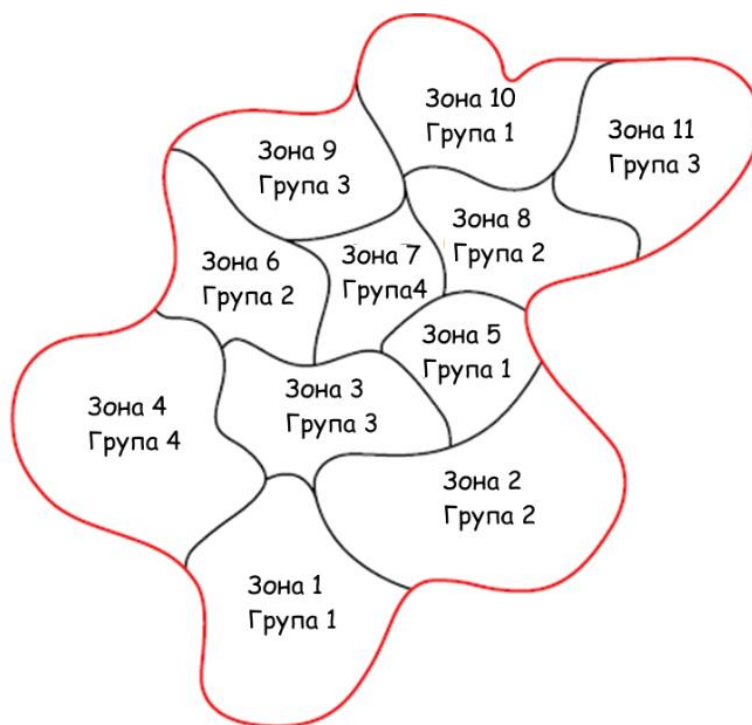


Рис.1.14 Групи PCI

Виходячи з вимог до PCI, зрозуміло, що під час планування мережі необхідно закласти запас між значенням PCI базових станцій – для того, щоб у майбутньому була можливість інтегрувати нові базові станції.

Висновок

Розглядаючи перший розділ, було виділено основні елементи архітектури мережі LTE та її загальну структуру. Оновлена архітектура мережі дозволяє, в разі необхідності, збільшити пропускну здатність мережі для обслуговування більшої кількості трафіку. Посилаючись на міжнародний стандарт електрозв'язку та наукову літературу, були визначенні основні відмінності технології LTE від мережі минулого покоління, а також основні вимоги до мережі LTE. В даному розділі було зазначено ресурси мережі, структуру кадру для різних режимів дуплексу – FDD та TDD. Розглянута технологія OFDM була застосована в мережі 4-го покоління, забезпечивши більш стабільну роботу під час складних радіоумов для передачі сигналу.

Було визначено основні показники оцінки якості зв'язку в мережі LTE. Показник QoS характеризує вірогідність проходження повідомлення між двома вузлами мережі, а показник QoE відображає сприйняття абонентом загальної якості наданої послуги.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖІ ТА РОЗРАХУНОК РАДІОПОКРИТТЯ

2.1 Відомості про програмний засіб Forsk Atoll

Forsk Atoll — це комплексна платформа для планування та оптимізації радіозв'язку. Вона охоплює уніфіковані моделі трафіку, та автоматичне планування стільникового зв'язку (АСР). Програмний засіб Forsk Atoll пропонує можливості для розрахування прогнозів радіопокриття з врахуванням впливу реальних мережевих даних впродовж усього процесу планування. Дані мережі доповнюють реальну інформацію до прогнозів, що дозволяє покращити моделювання розвитку трафіку, ідентифікацію гарячих точок, та забезпечити керування процесом планування та оптимізації АФР та АСР [17].

Алгоритм оптимізації АСР (Automatic Cell Planning) поєднує вхідні дані прогнозів та даних мережі в реальному часі, які необхідні для підтримки систем планування та оптимізації. Алгоритм можна використати для вибору найкращого місця планування та необхідної потужності стільника мережі.

Варто додати, що ландшафт грає основну роль під час розрахунку покриття, і його зміна, у випадку побудови чи знесення будинків в місті, може сильно вплинути на достовірність розрахованого покриття стільників. Для ефективного контролю покриття, необхідно відстежувати його достовірність за допомогою окремих програм і вносити коректуючі дії для забезпечення оптимальних показників. Такі заходи будуть особливо актуальними для великих міст, в яких процес забудівлі відбувається досить швидко і з кожним роком тільки зростає.

Алгоритм автоматичного планування частоти АФР (Automatic Frequency Planning), дозволяє інженерам-проектувальникам радіомереж автоматично планувати та розподіляти параметри стільникових мереж, такі як частоти та коди стільників PCI, щоб мінімізувати завади від сусідніх

стільников. Підтримувані технології алгоритмом AFP: 5G, LTE/LTE-A, NB-IoT, GSM/GPRS/EDGE, WiMAX і Wi-Fi.

Програмний засіб Forsk Atoll надає операторам потужне та гнучке середовище для проектування та оптимізації мереж радіодоступу. Atoll підтримує широкий спектр сценаріїв реалізації мережі, з використанням радіо обладнання від різних виробників [17].

Операторами мобільного зв'язку у понад 140 країнах світу, було високо оцінено можливості програмного комплексу, саме тому Atoll став галузевим стандартом для планування та оптимізації радіомереж.

2.2 Планування віртуальної стільникової мережі з використанням програмного засобу Forsk Atoll

Для початку планування нам буде необхідно відкрити програмний засіб Forsk Atoll. По замовчуванню, нас буде вітати стартове вікно програми (рис. 2.1), де нам буде необхідно вибрати покоління мережі, для якої буде проводитися планування. У тестовому проєкті ми будемо орієнтуватися на мобільну мережу 4-го покоління LTE.

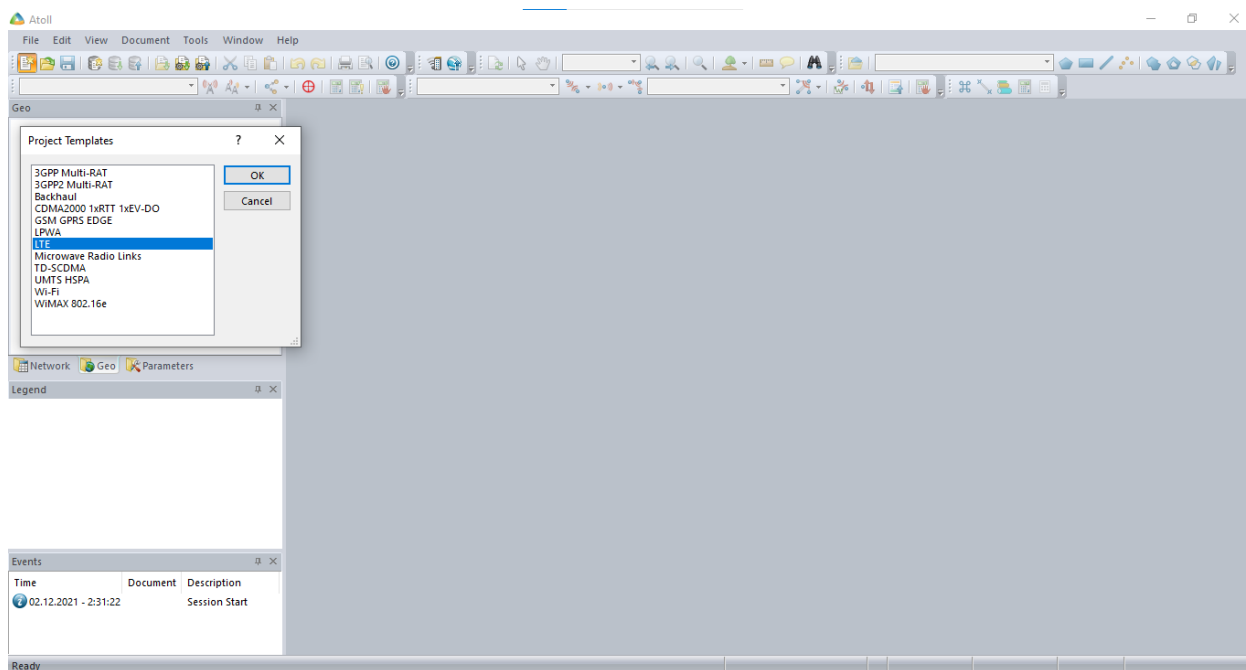


Рис. 2.1 Вибір мережі

Після вибору необхідної для нас мережі, необхідно додати карту місцевості на якій буде розгорнута тестову мережу. Для додавання карти, нам буде необхідно визначитися зі системою географічних координат. Програма Forsk Atoll досить гнучка у даному аспекті та підтримує велику кількість відомих і стандартизованих систем з географічними координатами. Для свого проєкту я буду використовувати міжнародну систему координат WGS 84 та карту OpenStreetMap. У діалоговому вікні (рис. 2.2), необхідно вибрати систему географічних координат. Від неї буде багато чого залежати у майбутньому, особливо якщо наш проєкт передбачає імпорт карт та конфігураційного файлу зі стільниками мобільної мережі [19].

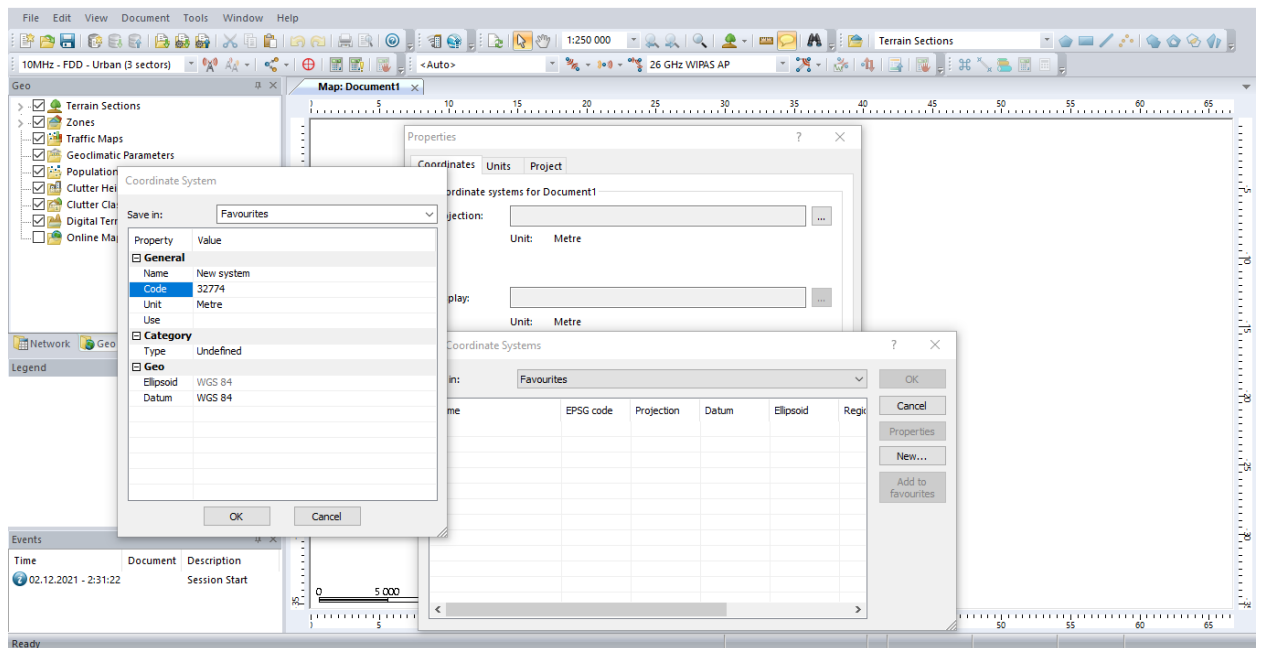


Рис. 2.2 Система географічних координат проєкту

Тестову мережу буде розгорнута в Україні, відповідно до стандарту, вона буде знаходитися на полосі UTM 36N (рис. 2.3)

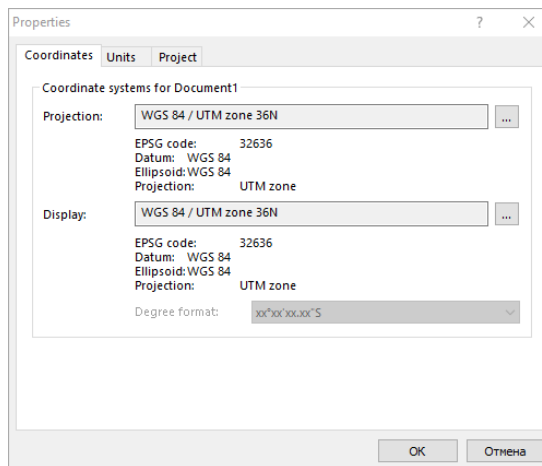


Рис. 2.3 Географічні широти України

Після пророблених маніпуляцій, ми отримуємо карту (рис. 2.4), з необхідною для нас системою координат. На цьому етапі, з головним налаштуванням проєкту завершено і можна переходити до моделювання мобільної мережі LTE. Важливо додати, що на етапі підготовки програми до роботи важливо провести імпорт зі зовнішнього файлу, векторних карт з висотами для місцевості, де буде проводитися проєктування. Від цього буде суттєво залежати розрахункове покриття. Приклади розрахунку покриття, які будуть відображені у цьому розділі, не враховують векторної карти з висотами і ілюструють лише метод розрахунку покриття.

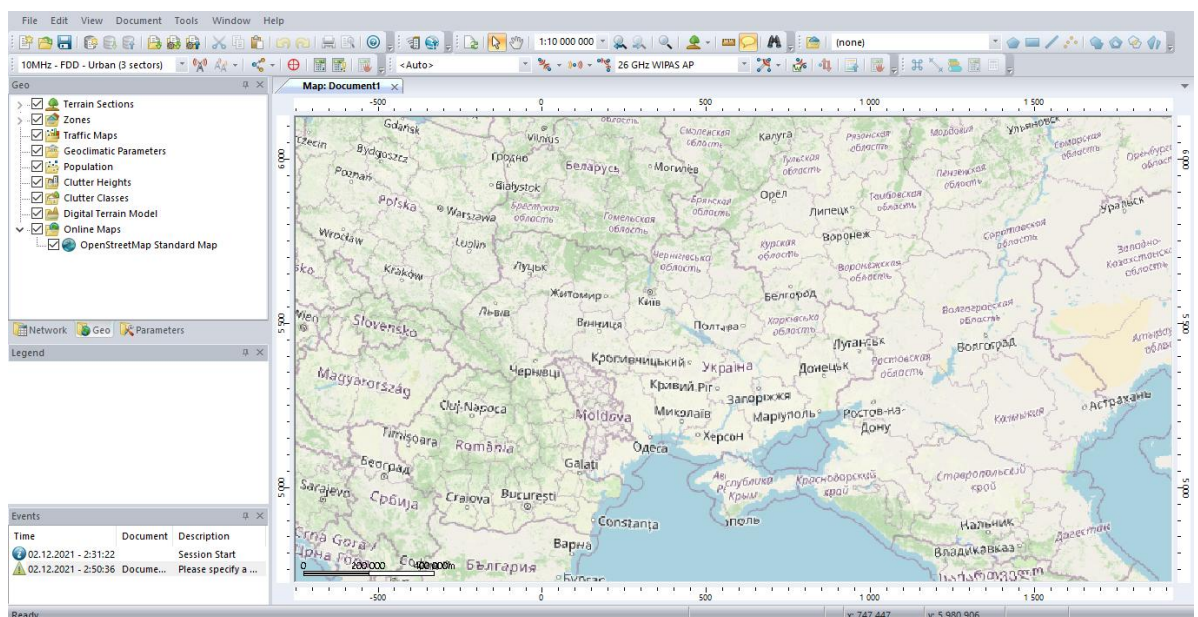


Рис. 2.4 Карта України

Для початку проектування мережі нам необхідно додати першу базову станцію. Цю дію ми можемо виконати у діалоговому вікні sites, натиснувши правою клавішею миші. Далі необхідно обрати пункт new, після чого ввести ім'я вишки, на яку ми у майбутньому додамо антени (рис. 2.5)

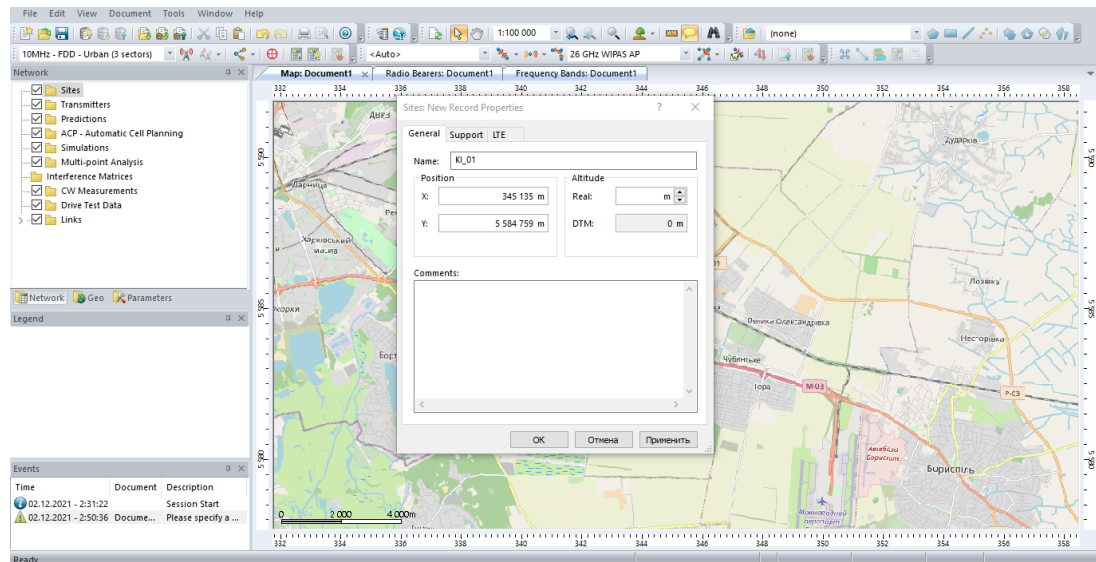


Рис. 2.5 Розташування вишки в програмі

Сотворену нам базову станцію, необхідно розмістити на вже підготовленій нами карті, після чого вже до існуючої базової станції, необхідно підв'язати антени, або transmitter. Цю дію ми виконуємо у діалоговому вікні, натиснувши праву клавішу миші на базовій станції (рис 2.6)

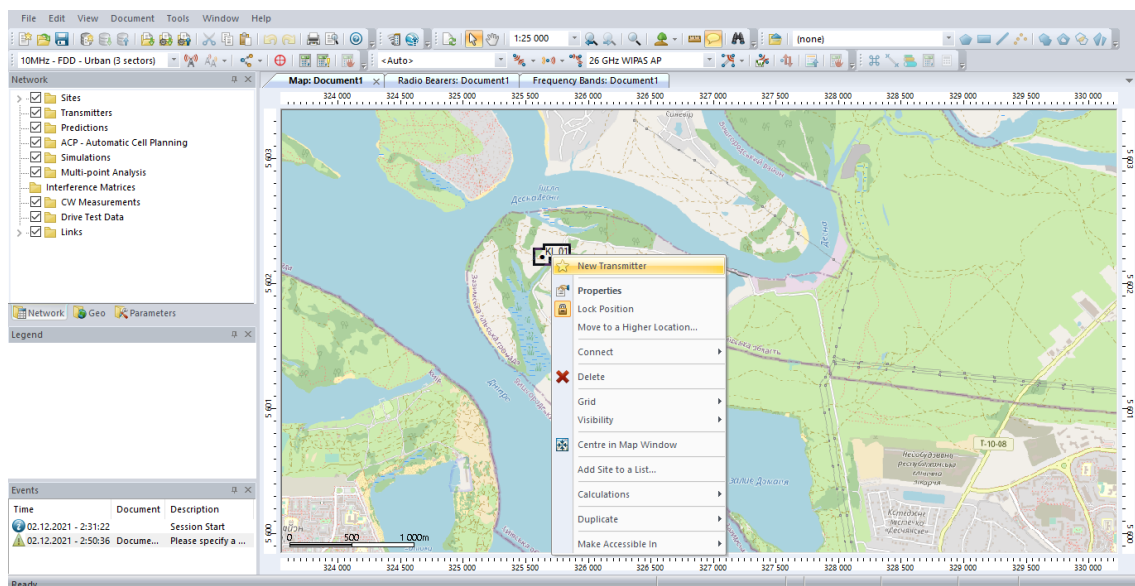


Рис. 2.6 Встановлення антени

Якщо відкрити меню зі властивостями стільника (рис. 2.7), то перед нами з'явиться можливість гнучкого налаштування стільника. В першу чергу ми можемо обрати тип антени, налаштувати висоту її розташування, кути нахилу та необхідні азимути. Також ми можемо задати втрати в дБм які відбуваються у фідерній частині базової станції, на відрізок від блока радіюніта (RRU) до активної антени [19].

General Transmitter Cells Propagation Display

☒ Active Transmitter type: Intra-network (Server and Interferer)

Transmission/Reception

	Transmission		Reception		Equipment...
	Real	Computed	Real	Computed	
Total losses:	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	Detail
Noise figure:			5 dB	0 dB	

Antennas

Height/ground: 30 m

Main antenna

Model: 65deg 18dBi 4Tilt 2100MHz ... Select...

Mechanical azimuth: 0° Mechanical downtilt: 0°

Electrical azimuth: 0° Electrical downtilt: 4°

Additional electrical downtilt: 0°

Smart antenna

Equipment: ...

Number of antenna ports

Transmission: 2 Reception: 2

Secondary Antennas

	Antenna	Azimuth (°)	Mechanical Downtilt (°)	Additional Electrical Downtilt (°)
*				

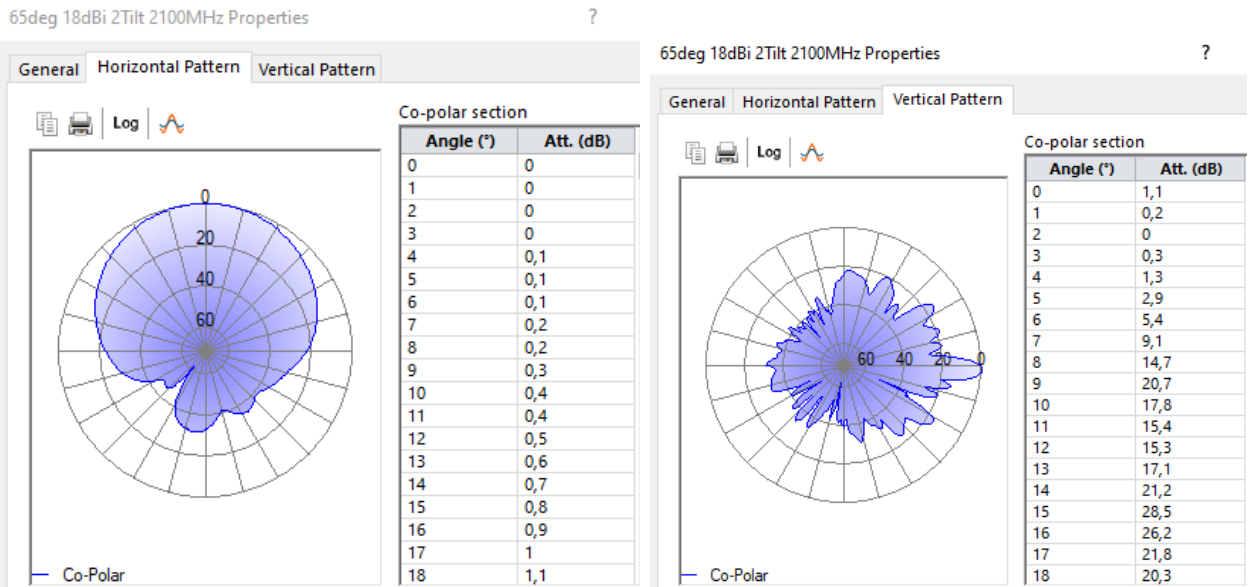
Navigation buttons: Previous, Next, OK, Отмена, Применить

Рис. 2.7 Властивості стільника

Для того, щоб використовувати у плануванні стільникової мережі конкретні моделі антен, які можливо, в майбутньому будуть інтегруватися в

мережу, необхідно звернутися до виробника антени й запросити вертикальні та горизонтальні діаграми направленості до них.

Діаграми направленості до обраних антен, можна легко додати до програми Forsk Atoll, та провести моделювання мережі, враховуючи особливості та тип обраних антен. В цьому проєкті, я використав двох портіві, 65 градусні антени від виробника Kathrein, з рівнем підсилення 18 дБм на частоті 2100 МГц. Данні антени доступні по замовчуванню у програмі. На практиці, даний виробник зарекомендував себе з найкращої сторони, як провідний виробник радіобладнання, яке користується популярністю по всьому світу. Горизонтальні та вертикальні діаграми



направленості до цих антен

представлені на рисунку нижче (рис. 2.8).

Рис. 2.8 Діаграми направленості обраної антени

2.3 Розрахунок покриття з використанням програмного засобу Forsk Atoll

Для розрахунку покриття необхідно для початку вибрати розрахункову модель, яка буде використовуватися для розрахунку покриття. Для того, щоб обрати модель необхідно натиснути правою кнопкою миші на вкладці prediction, вибрати properties, де вже можна буде вказати необхідну для нас модель розрахунку радіопокриття (рис. 2.9).

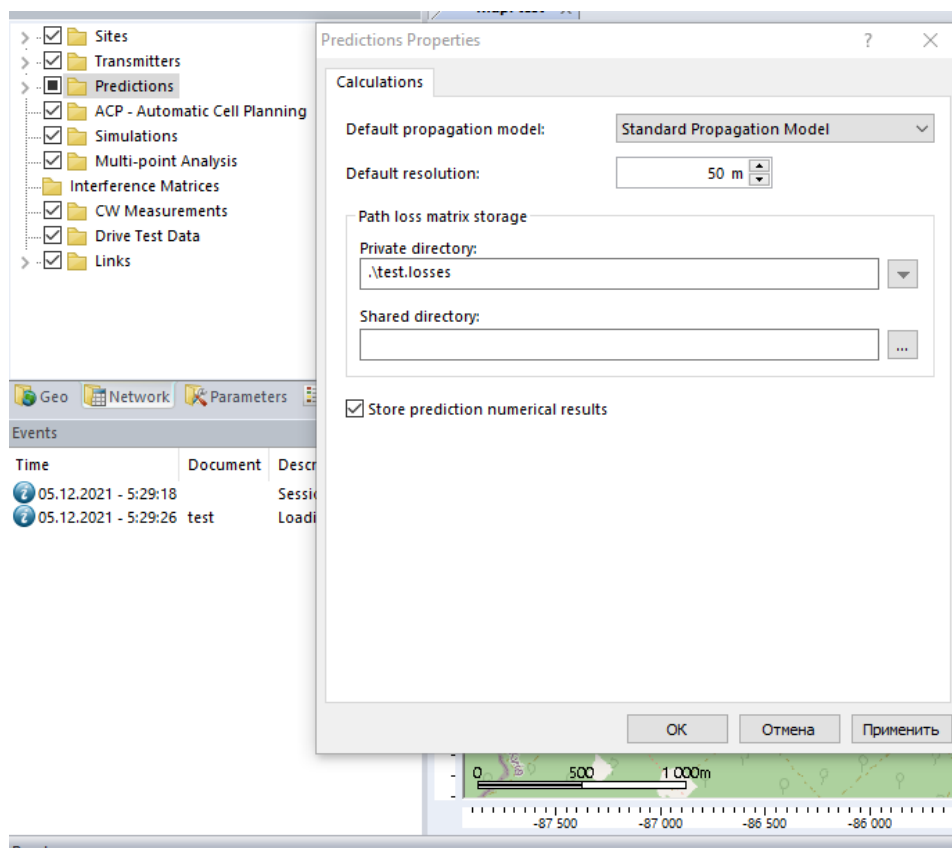


Рис. 2.9 Обрана модель радіопокриття для розрахунку

Після пророблених дій ми можемо розрахувати покриття для одного, чи кількох стільників мережі. Для цього нам необхідно обрати в меню calculation > create a new prediction. (рис. 2.10)

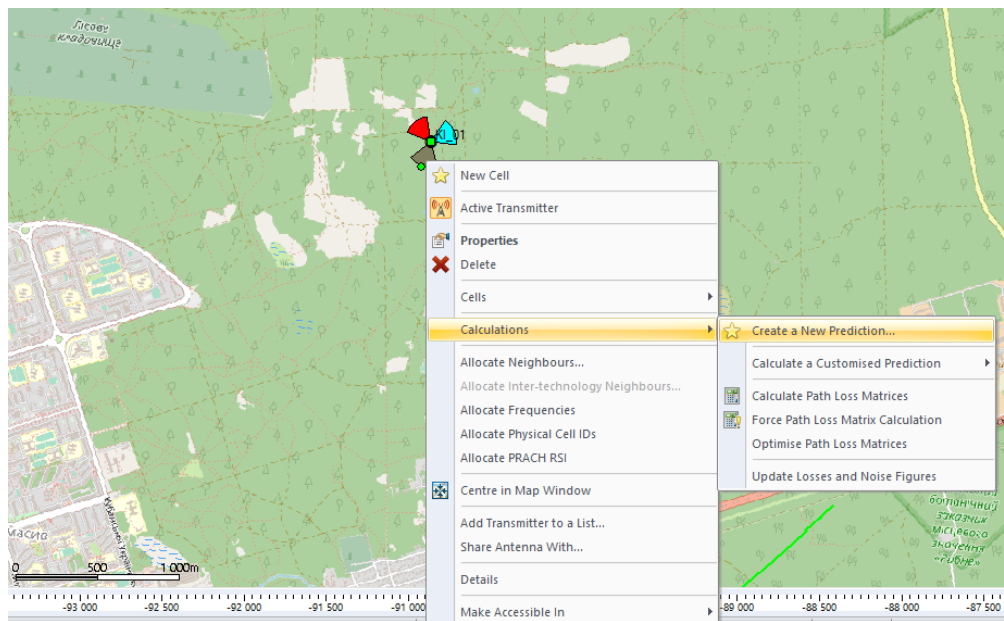


Рис. 2.10 Створення маски для розрахунку покриття

У меню Prediction створиться маска для вибраного нами стільника, яку необхідно буде розрахувати для отримання прогнозів з радіопокриттям.

Маску можливо додатково налаштувати, вказавши роздільну якість розрахунку у квадратних метрах та висоту приймальної антени, термінального пристрою UE абонента мережі. (рис. 2.11)

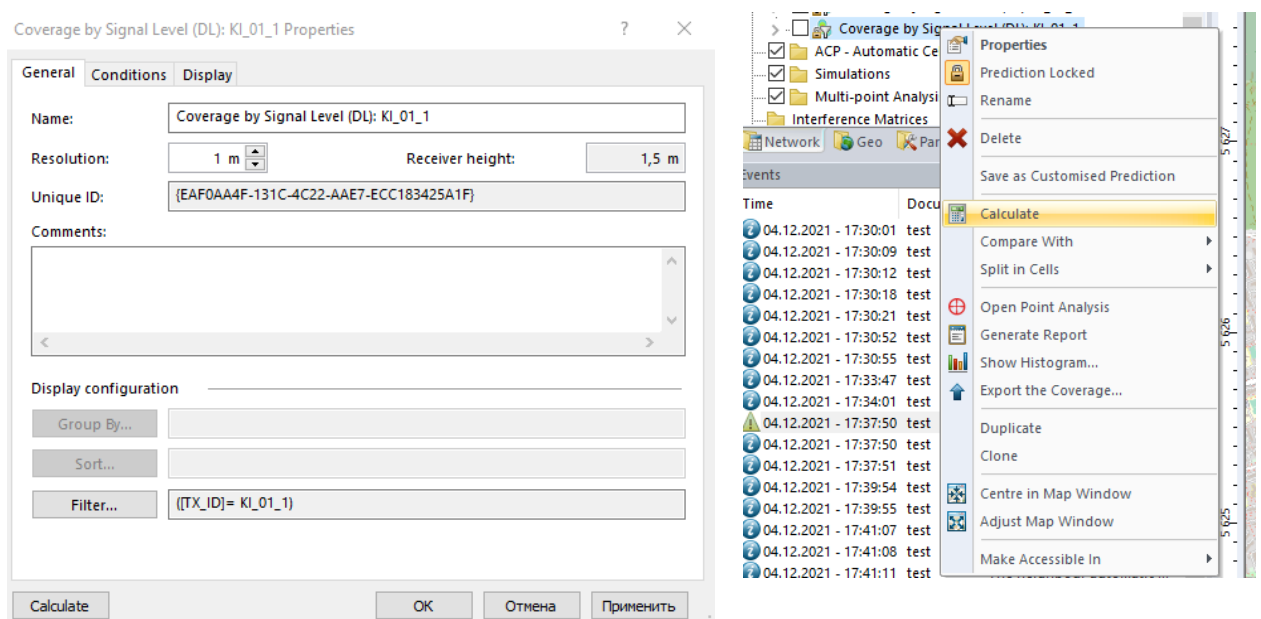


Рис. 2.11 Налаштування маски покриття та її розрахунок

Після завершення розрахунків програмою, отримаємо результат. Покриття буде візуалізовано на карті у вигляді градієнтної площини. Градієнтна шкала зі значеннями сили сигналу, додана до рисунка (рис. 2.12).

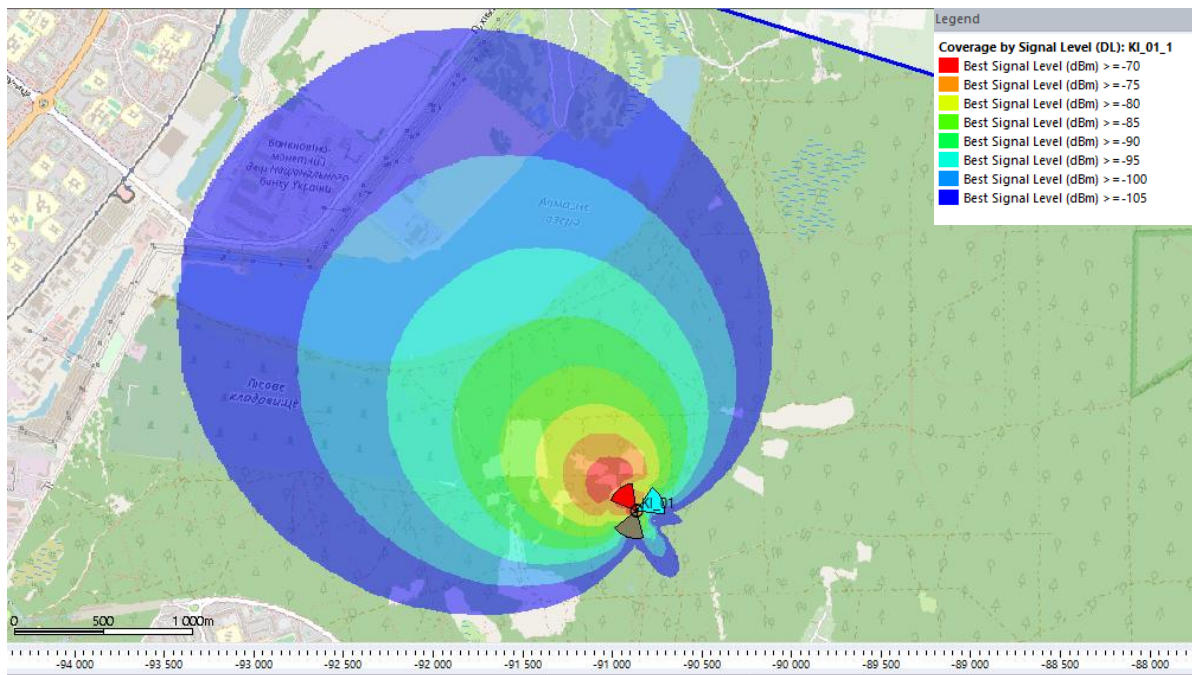


Рис. 2.12 Візуалізація покриття стільника мережі

2.4 Алгоритм автоматичного планування частоти AFR

Програма Forsk Atoll підтримує алгоритм автоматичного планування частоти AFR, що дозволяє проводити автоматичне частотне планування стільників. Це суттєво полегшує процес планування і виключає помилку при розподіленні частотних планів. У представленому прикладі нижче було проілюстровано функціонал даного алгоритму. Програма автоматично розподілила частоту між 7-ми стільниками й згенерувала PCI індекси [19].

Automatic Neighbor Allocation – це алгоритм автоматичного розрахунку сусідів для кожного окремого стільника в мережі (рис. 2.14). Це особливо важливо для моделювання мереж 2 і 3G, оскільки сусіди повинні прописуватися вручну для кожної базової станції окремо [19]. В мережі 4G працює алгоритм ANR (Automatic Neighbor Relation), він дозволяє системі автоматично налаштовувати сусідів, а також додавати нових сусідів за допомогою запитів від термінального обладнання UE.

	Initial Physical Cell ID	Physical Cell ID	Initial PSS ID	PSS ID	Initial SSS ID	SSS ID	Cost	SSS ID status	PSS ID status
	25	25	1	1	8	8	0	Allocated	Allocated
	21	21	0	0	7	7	0,004000008	Allocated	Allocated
	24	24	0	0	8	8	0,004000008	Allocated	Allocated
	26	26	2	2	8	8	0	Allocated	Allocated
	1	1	1	1	0	0	0	Allocated	Allocated
	0	0	0	0	0	0	0	Allocated	Allocated
	2	2	2	2	0	0	0	Allocated	Allocated
	17	17	2	2	5	5	0	Allocated	Allocated
	15	15	0	0	5	5	0	Allocated	Allocated
	16	16	1	1	5	5	0	Allocated	Allocated
	14	14	2	2	4	4	0	Allocated	Allocated
	13	13	1	1	4	4	0	Allocated	Allocated
	12	12	0	0	4	4	0	Allocated	Allocated
	11	11	2	2	3	3	0	Allocated	Allocated
	9	9	0	0	3	3	0	Allocated	Allocated
	10	10	1	1	3	3	0	Allocated	Allocated
	4	4	1	1	1	1	0	Allocated	Allocated
	5	5	2	2	1	1	0	Allocated	Allocated
	3	3	0	0	1	1	0	Allocated	Allocated
	7	7	1	1	2	2	0	Allocated	Allocated
	6	6	0	0	2	2	0	Allocated	Allocated
	8	8	2	2	2	2	0	Allocated	Allocated

Рис 2.13 Автоматичне планування частоти

Automatic Neighbour Allocation

Intra-technology Neighbours

Max inter-site distance: 10 000 m

Max no. of neighbours: 16

☒ Use coverage conditions

Min RSRP: by Cell
Handover start: per cell
Handover end: 5 dB

Define...

% min covered area: 10 %

Force

☒ Co-site cells as neighbours

☒ Adjacent cells as neighbours

☐ Adjacent layers as neighbours

☐ Symmetric relations

☐ Exceptional pairs

☒ Delete existing neighbours

Results:

Neighbour	Importance (%)	Cause	Relation type	Coverage (%)	Coverage (km ²)	Adjacency (%)	Adjacency (km ²)	Commit
KI_01_2(0)	78,09	Co-Site	Intra-carrier	39,15	1,52	39,15	1,52	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_3(0)	65,82	Co-Site	Intra-carrier	5,73	0,2225	4,7	0,1825	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_1(1)	64	Co-Site	Intra-carrier					<input checked="" type="checkbox"/>
KI_06_1(0)	41,78	Adjacent	Intra-carrier	38,31	1,4875	37,03	1,4375	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_06_2(0)	35,77	Adjacent	Intra-carrier	16,81	0,6525	14,42	0,56	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_3(0)	64	Co-Site	Intra-carrier					<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_2(0)	64	Co-Site	Intra-carrier					<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_1(0)	64	Co-Site	Intra-carrier					<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_1(0)	69,83	Co-Site	Intra-carrier	48,6	1,3475			<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_3(0)	65,64	Co-Site	Intra-carrier	5,41	0,15	4,15	0,115	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_1(1)	64	Co-Site	Intra-carrier					<input checked="" type="checkbox"/>
KI_02_1(0)	42,04	Adjacent	Intra-carrier	42,74	1,185	37,06	1,0275	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_02_2(0)	31,95	Adjacent	Intra-carrier	3,25	0,09	0,72	0,02	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_2(0)	65,21	Co-Site	Intra-carrier	4,02	0,1425	3,03	0,1075	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_1(0)	64,82	Co-Site	Intra-carrier	6,85	0,2425			<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_1(0)	64	Co-Site	Intra-carrier					<input checked="" type="checkbox"/>
KI_03_1(0)	38,22	Adjacent	Intra-carrier	27,31	0,9675	23,78	0,8425	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_03_2(0)	37,85	Adjacent	Intra-carrier	26,75	0,9475	22,72	0,805	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_04_1(0)	34,94	Adjacent	Intra-carrier	15,67	0,555	11,15	0,395	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_06_2(0)	33,93	Adjacent	Intra-carrier	11,71	0,415	6,7	0,2375	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_1(0)	32,63	Adjacent	Intra-carrier	7,69	0,2725	2,54	0,09	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_02_2(0)	72,75	Co-Site	Intra-carrier	24,61	1,0725	24,15	1,0525	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_02_3(0)	65,47	Co-Site	Intra-carrier	4,7	0,205	3,79	0,165	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_2(0)	41,76	Adjacent	Intra-carrier	40,39	1,76	36,66	1,5975	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_03_1(0)	35,44	Adjacent	Intra-carrier	16,64	0,725	12,91	0,5625	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_3(0)	34,50	Adjacent	Intra-carrier	13,65	0,595	10,15	0,4425	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_02_3(0)	80,59	Co-Site	Intra-carrier	47,15	0,95	45,53	0,9175	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_02_1(0)	75,05	Co-Site	Intra-carrier	34,99	0,705	28,54	0,575	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_01_2(0)	34,52	Adjacent	Intra-carrier	17,87	0,36	7,69	0,155	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_02_2(0)	70,48	Co-Site	Intra-carrier	18	0,92	18	0,92	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_02_1(0)	65,35	Co-Site	Intra-carrier	4,3	0,22	3,47	0,1775	<input checked="" type="checkbox"/>
KI_07_2(0)	40,54	Adjacent	Intra-carrier	34,62	1,77	33,01	1,6875	<input checked="" type="checkbox"/>

Calculate Compare Commit

Close

Рис 2.13 Автоматичне планування списку сусідів стільника

Результат роботи алгоритму Automatic Neighbor Allocation, окрім таблиці, можна переглянути на карті, де буде візуалізовано оптимальних сусідів для обраного стільника (рис. 2.14).

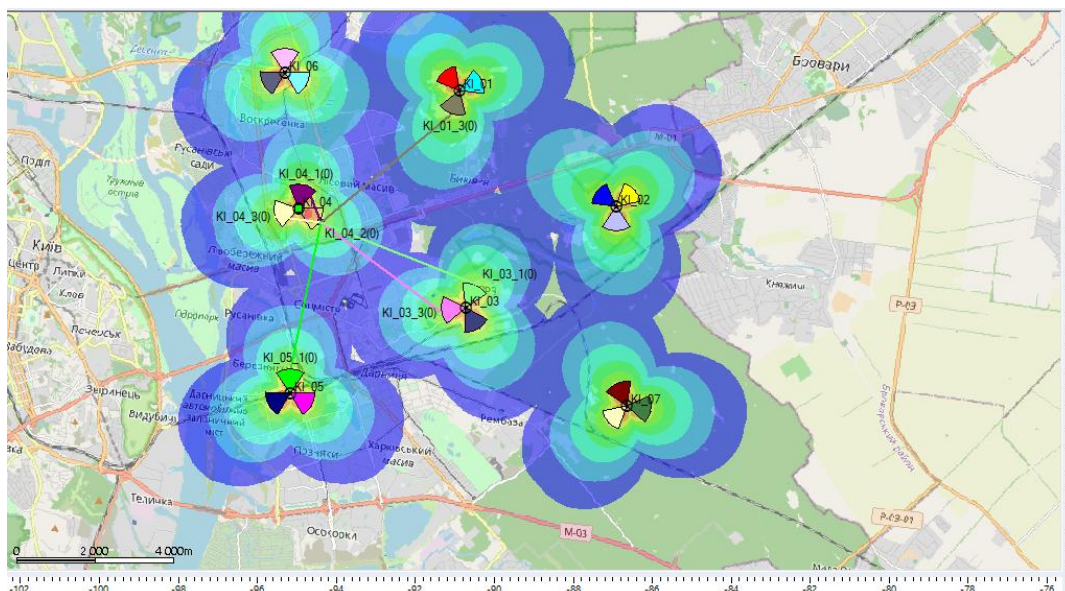


Рис. 2.14 Візуалізація найбільш оптимальних сусідів для обраного стільника

Висновок

У другому розділі роботи було виконано огляд можливостей програмного засобу Forsk Atoll. Розглянута програма має потужні можливості для розрахунку радіопокриття мобільної мережі. Для розрахунку покриття використовується не тільки інформація про конфігурацію базової станції, а й вплив ландшафту який її оточує. Алгоритми автоматичного планування стільників та частоти, суттєво спрощують задачу планування мережі багатостанційного зв'язку.

Програмний засіб Forsk Atoll надає операторам мобільного зв'язку гнучке середовище для проєктування своїх мереж, саме тому операторами мобільного зв'язку у понад 140 країнах світу, було високо оцінено можливості програмного комплексу. Atoll став галузевим стандартом для планування та оптимізації радіомереж.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ РАДІОПОКРИТТЯ

3.1 Запис хронології показників рівнів потужності сигналу стільникової мережі за допомогою тестового пристрою

Для запису хронології показників стільникової мережі, в проєкті буде використовуватися програмне забезпечення G-NETtrack. Програма доступна до завантаження і повністю задовольняє вимоги проєкту по необхідному функціоналу. Використання саме програмного засобу G-NETtrack не є обов'язковим і може бути легко замінений на програму-аналог. На рисунку нижче (рис. 3.1) наведені параметри мережі, що фіксує у реальному часі програма, а також кнопки для початку та зупинки запису файлу.

Для виконання драйв-тесту мережі необхідно, щоб програма могла фіксувати наступні параметри: поточні координати Longitude/Latitude, код частоти ARFCN, рівень сигналу RSRP, PCI коди сусідніх стільників та ім'я стільника до якого зараз приєднаний телефон.



Рис. 3.1 Меню програми G-NETtrack

Готовий файл разом з записаними показниками мережі, можна зайти у теці телефона (рис. 3.2). Паралельно, програма генерує досить багато файлів, які для даного проєкту не знадобляться. Для роботи нам буде необхідний тільки перший текстовий файл з назвою lte_model. Тип файлу, необхідно вручну змінити з .txt на .csv, для того, щоб файл було можливо відкрити в Excel.

scan	17.11.2021 19:28	Папка с файлами	
lte_model_1	07.11.2021 22:15	Текстовый докум...	1 280 КБ
lte_model_1_arfcn	07.11.2021 22:15	KML	5 502 КБ
lte_model_1_band	07.11.2021 22:15	KML	5 497 КБ
lte_model_1_bandwidth	07.11.2021 22:15	KML	5 497 КБ
lte_model_1_ca	07.11.2021 22:15	KML	5 540 КБ
lte_model_1_cellfind	07.11.2021 22:15	KML	80 КБ
lte_model_1_cellfind	07.11.2021 22:15	Текстовый докум...	5 КБ
lte_model_1_cellid	07.11.2021 22:15	KML	5 534 КБ
lte_model_1_cqi	07.11.2021 22:15	KML	5 531 КБ
lte_model_1_csirsrp	07.11.2021 22:15	KML	5 529 КБ
lte_model_1_csirsrq	07.11.2021 22:15	KML	5 529 КБ
lte_model_1_csisnr	07.11.2021 22:15	KML	5 529 КБ
lte_model_1_datatest	07.11.2021 22:15	KML	1 КБ
lte_model_1_datatest	07.11.2021 22:15	Текстовый докум...	1 КБ

Рис. 3.2 Тека програми G-NETtrack

Якщо відкрити файл, то можна буде побачити всю хронологію показників мобільної мережі (рис. 3.3). Даний файл містить багато зайвої інформації, яку необхідно прибрати для облегшення файлу. Також на даному етапі необхідно прибрати зі файлу всі записи, що не належать до мережі LTE, наприклад, записи з мереж 2G та 3G. Такі записи можуть буди як і в активному з'єднанні, так і сусідніх стільниках мережі мобільного оператора зв'язку. Для виконання роботи нам знадобляться рівні RSRP не тільки активного з'єднання, а й рівні потужності сигналу від сусідніх стільників мережі. Це суттєво вплине на точність калібрування моделі, оскільки телефон по замовчуванню, завжди вибирає найсильніший та найкращий сигнал для активного з'єднання. Для калібрування моделі бажано

використовувати не тільки високі рівні RSRP, а й низькі, що дозволить об'єктивно проводити розрахунки.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Timestamp	Longitude	Latitude	Speed	Operator	Operator	CGI	Cellname	Node	CellID	LAC	NetworkT	NetworkL	Level	Qual	SNR	CQI	LTERSSI	ARFCN
2	2021.11.07_15.09.10	30.54312	50.497843	0	lifecell	25506	2,55E+14		810976	31	13421	4G	LTE	-79	-6 15.0	-	-55	1275	
3	2021.11.07_15.09.11	30.543115	50.497841	0	lifecell	25506	2,55E+14		810976	31	13421	4G	LTE	-79	-6 11.0	-	-55	1275	
4	2021.11.07_15.09.11	30.543115	50.497841	0	lifecell	25506	2,55E+14		810976	31	13421	4G	LTE	-79	-6 1.0	-	-55	1275	
5	2021.11.07_15.09.12	30.543115	50.497841	0	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-110	-12 1.0	-	-79	3150	
6	2021.11.07_15.09.13	30.543115	50.497841	0	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-110	-12 1.0	-	-79	3150	
7	2021.11.07_15.09.14	30.543115	50.497841	0	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-109	-12 1.0	-	-79	3150	
8	2021.11.07_15.09.15	30.543115	50.497841	0	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-109	-12 2.0	-	-79	3150	
9	2021.11.07_15.09.16	30.543099	50.497849	1	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-109	-12 2.0	-	-79	3150	
10	2021.11.07_15.09.16	30.543099	50.497849	1	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
11	2021.11.07_15.09.17	30.543099	50.497849	1	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
12	2021.11.07_15.09.18	30.543073	50.497866	5	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
13	2021.11.07_15.09.18	30.543073	50.497866	5	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
14	2021.11.07_15.09.19	30.543063	50.497878	4	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
15	2021.11.07_15.09.19	30.543063	50.497878	4	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
16	2021.11.07_15.09.20	30.543057	50.497889	3	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
17	2021.11.07_15.09.20	30.543057	50.497889	3	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
18	2021.11.07_15.09.21	30.543052	50.497903	5	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
19	2021.11.07_15.09.21	30.543052	50.497903	5	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
20	2021.11.07_15.09.22	30.543049	50.497917	3	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
21	2021.11.07_15.09.22	30.543049	50.497917	3	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	LTE	-108	-12 2.0	-	-79	3150	
22	2021.11.07_15.09.23	30.543049	50.49793	3	lifecell	25506	2,55E+14		810584	33	13421	4G	1TF	-108	-12 2.0	-	-79	3150	

Рис. 3.3 Файл із записаною хронологією показників мережі LTE

На момент написання роботи, в Україні мережа LTE функціонує на трьох різних частотах: 900 МГц, 1800 МГц, 2600 МГц. До кожної частоти, прив'язується свій код ARFCN, що спрощує надалі ідентифікацію необхідного каналу, та смуги частот для мобільного простору з мережею оператора. Калібровку моделі радіопокриття можливо робити тільки для одної частоти за раз. Для цього проекту було обрано найбільш розповсюджену частоту для мереж 4-го покоління в Україні - 1800 МГц із кодом ARFCN - 1275. Всі інші записи з частотами було видалено із файлу.

Для калібрування моделі, нам будуть необхідна інформація з чотирьох колонок: координат широти та довготи, сили сигналу RSRP, та інформація зі PCI індексами існуючих стільників (рис. 3.4).

	A	B	E	F
1	Longitude	Latitude	NRxLev1	PCI
2	30.54312	50.497843	-79	398
3	30.543115	50.497841	-79	398
4	30.543115	50.497841	-79	398
5	30.542926	50.498069	-81	398
6	30.542928	50.498083	-81	398
7	30.542928	50.498083	-81	398
8	30.542928	50.498097	-81	398
9	30.542928	50.498097	-81	398
10	30.54293	50.498111	-81	398
11	30.54293	50.498111	-81	398
12	30.54293	50.498125	-81	398
13	30.54293	50.498125	-81	398
14	30.54293	50.49814	-81	398

Рис. 3.4 Очищений файл з показниками мережі

На графіку зображено розподіл між сусідніми стільниками та кількістю записів для них у файлі. Можна помітити слабку ефективність антени телефона для сусідніх стільників рівнів 6-10 (рис. 3.5). Така тенденція зрозуміла, оскільки реалізація підсилення антени в мобільному телефоні виробником, не часто перевищує 5 дБм і зазвичай сягає 2-3 дБм.

Зальна сума записів рівнів 6-10 менша, ніж кількість записів окремо для рівнів 1-2. Це свідчить про низьку доцільність вимірів на рівнях 6-10.

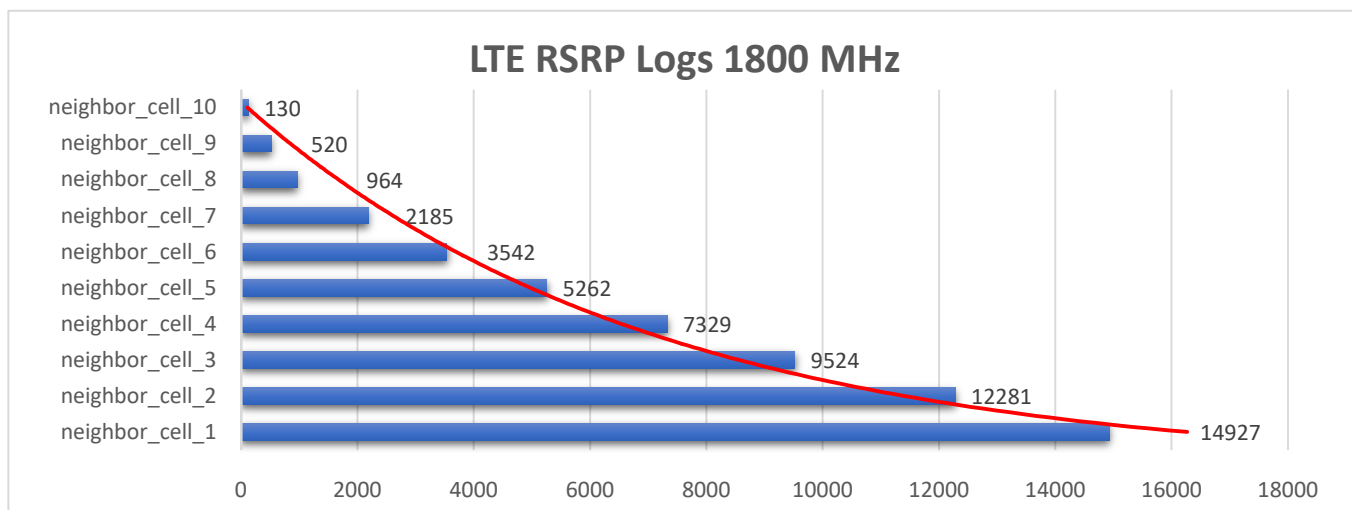


Рис. 3.5 Графік вимірів для сусідніх стільників 1-10

Нижче представлена таблиця зі статистикою кількості записів у файлі до PCI коду та назви стільника (табл. 3.1). Загальна кількість записів, використовуваних в проєкті перевищила 64 тисячі. Що є непоганим

результатом проведення драйв-тесту для одного телефону продовж трьох годин. Для проведення калібрування моделі , нам будуть необхідні стільники, що мають кількість записів більше однієї тисячі. Це обумовлюється тим, що маючи невелику точок, ми зможемо розглянуту досить маленьку ділянку для цього стільника. Така інформація буде необ'єктивною для подальшого використання

Таблиця 3.1

PCI code	Count of rows with PCI codes	Site
337	17405	KI097
155	9290	KI020
418	8659	KI051
309	7647	KI020
186	5302	KI055
256	2644	KI061
293	2204	KI055
300	2002	KI051
252	1957	KI115
205	1677	KI055
178	1632	KI001
273	1627	KI046
304	1308	KI020
492	1198	KI013
Total rows:	64552	

Прив'язка PCI кодів до стільників мережі

3.2 Розрахунок покриття мобільної мережі LTE програмою Forsk Atoll.

Для калібрування моделі, необхідно використовувати векторну карту з висотами. Вона необхідна для точного розрахунку радіопокриття, для кластера мережі, де проводився драйв-тест [20]. Калібровку моделі я буду проводити на відкритому просторі без забудови (рис. 3.6).

Якщо необхідно провести калібрування моделі в місті, необхідно використовувати актуальну карту за висотами.

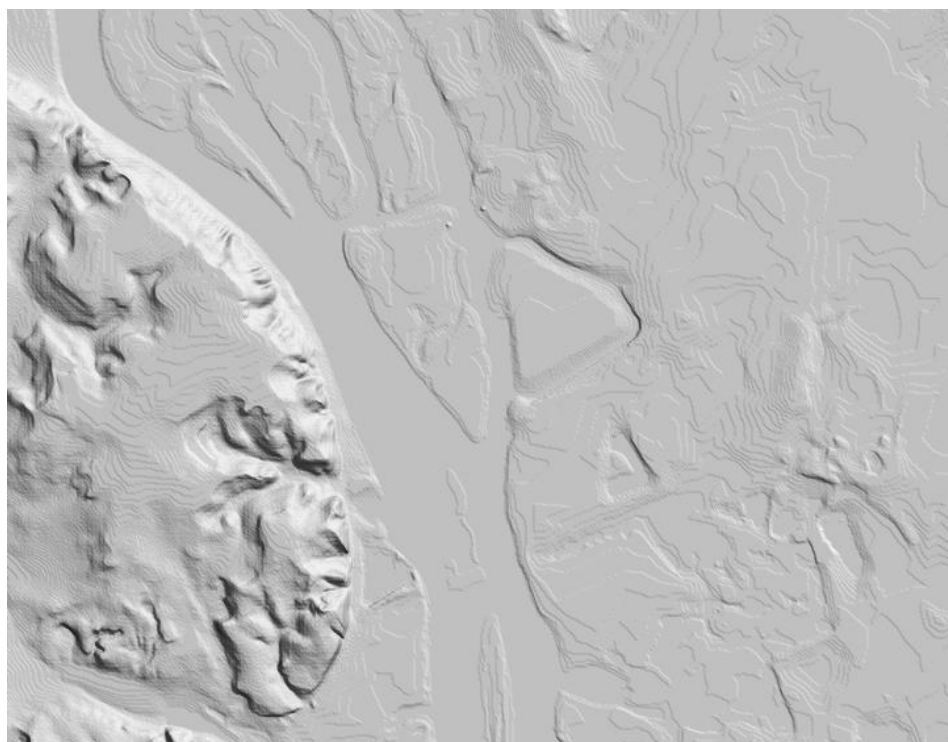


Рис. 3.6 Векторна карта з висотами

Використовуючи дані, що отримали з драйв-тесту, ми можемо додати на карту необхідні для нас базові станції. Для цього необхідно встановити фільтр на вкладці Гео. Після встановлення фільтру, обраний нами кластер підсвітиться синім кольором (рис. 3.7).

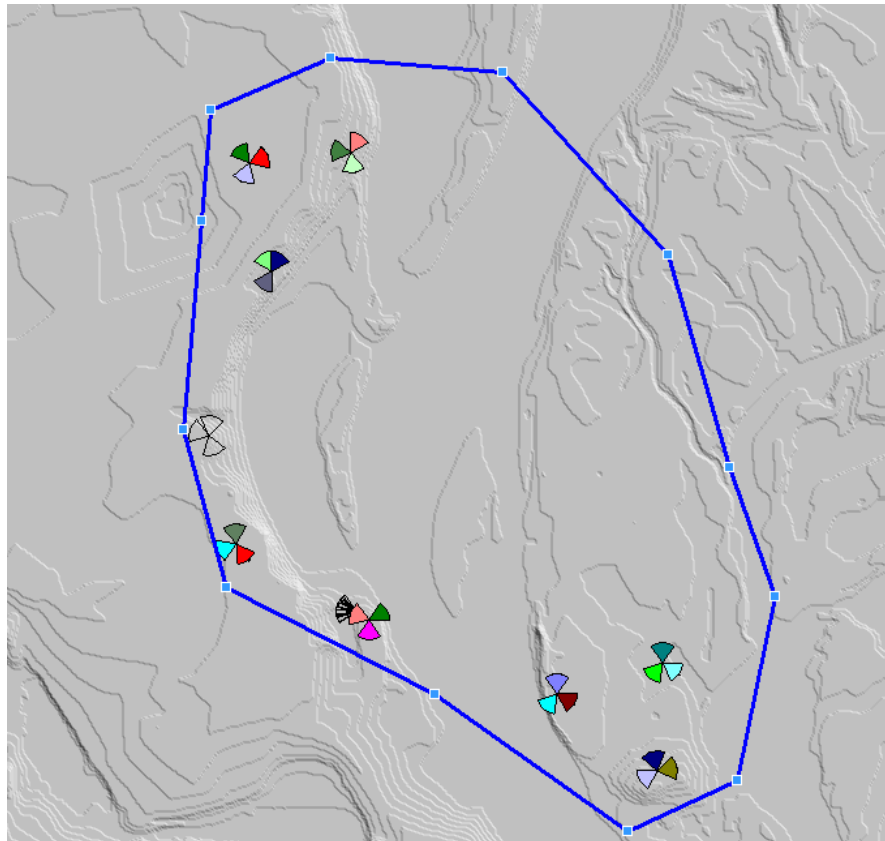


Рис. 3.7 Визначення кластера мережі

Для початку, необхідно розрахувати покриття, використовуючи модель яку ми хочемо відкалібрувати. Це необхідно для того, щоб після калібрування моделі радіопокриття, ми могли порівняти результати й зробити висновок про ефективність калібрування моделі. Приклад як можна провести розрахування радіопокриття і вибір необхідної для нас моделі, було представлено у минулому розділі.

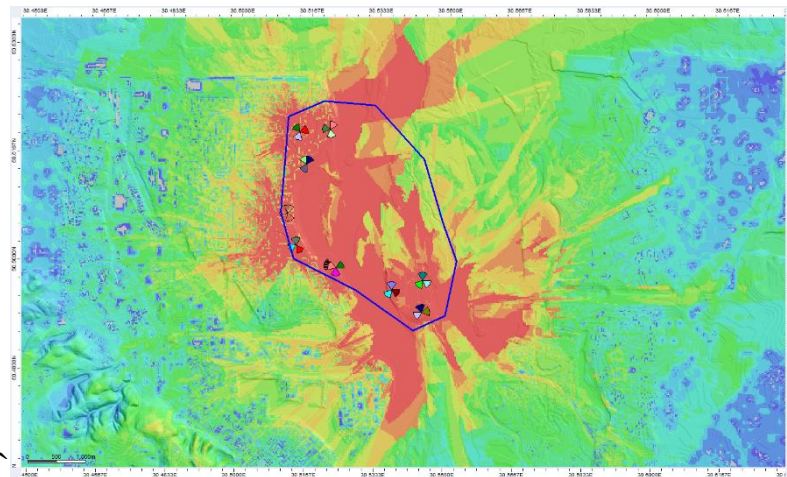


Рис. 3.8 Розрахунок покриття для обраного кластера

Можна помітити, що розрахунки радіопокриття проводяться, також за межами виділеного кластеру, для нашого проєкту подібні розрахунки недоцільні (рис. 3.8). Для пришвидшення процесу розрахунку уточнимо межі кластеру, де саме проводився драйв-тест. Це можна виконати використовуючи функцію Focus Zone та Computation Zone. Важливо щоб ці дві зони мали однакову область розрахунку (рис. 3.9). Для цього необхідно в налаштуваннях, вручну скопіювати координати точок кластеру, або зробити імпорт векторного файлу з готовою областю (рис. 3.10).

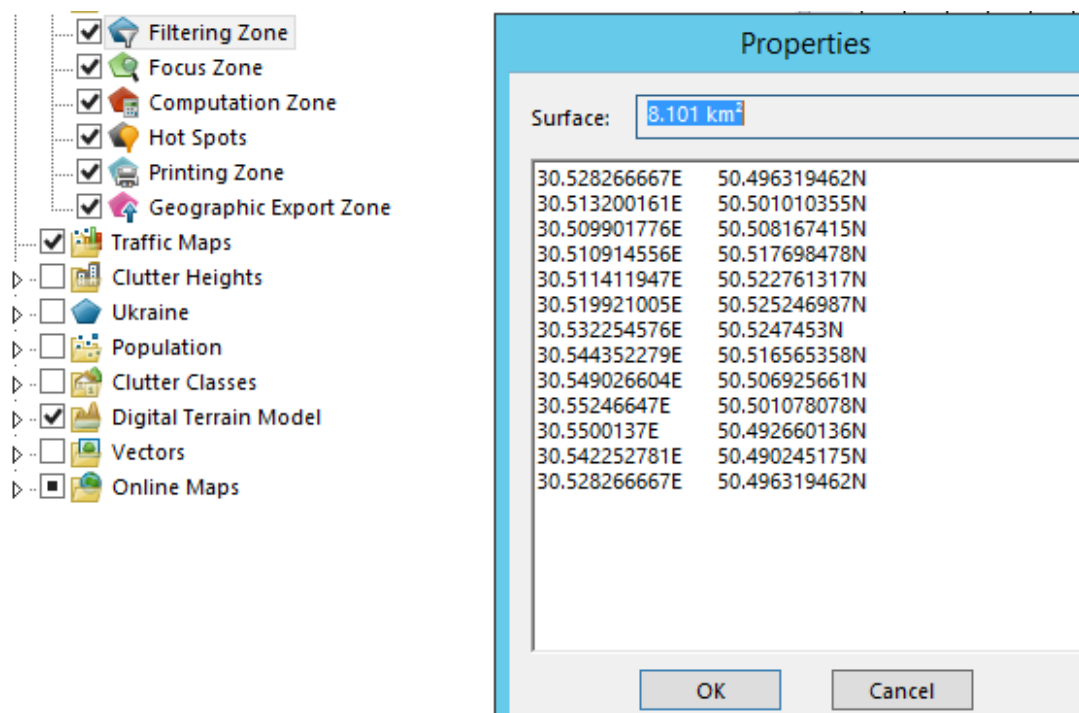


Рис. 3.9 Налаштування географічних фільтрів

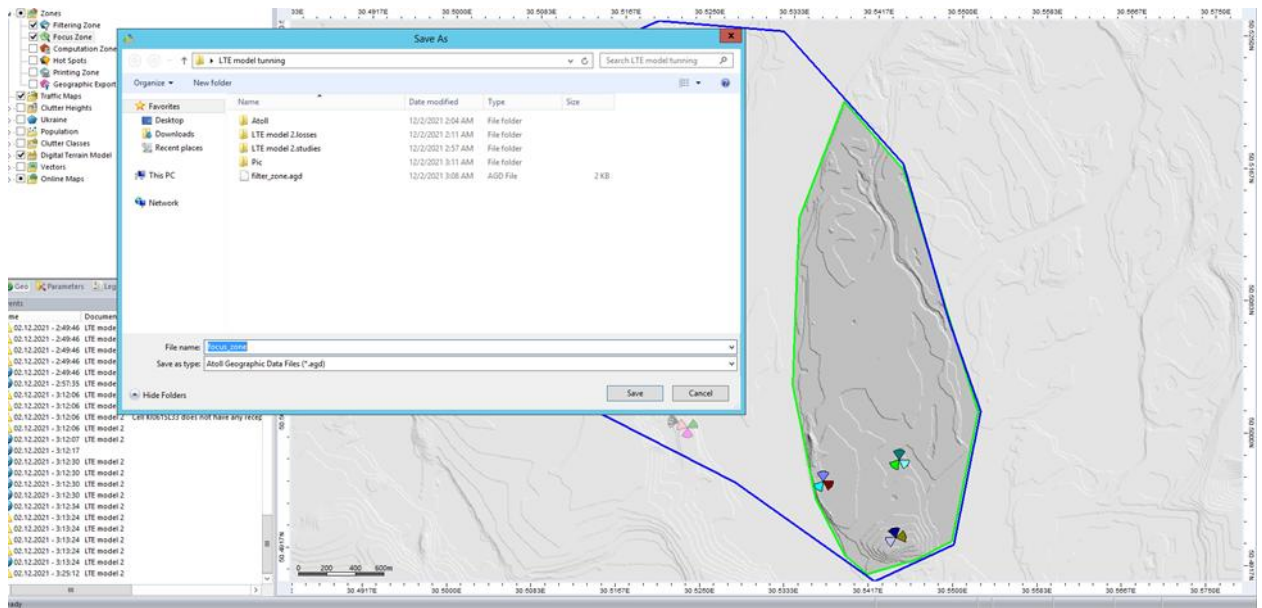


Рис. 3.10 Імпорт файлу з географічним фільтром

Данні що ми обробляли в екселі, необхідно зберегти як файл з текстовим розширенням. У моєму проєкті він називається LTE_model_all. Після чого, на вкладці LTE Drive Test Data натиснути правою клавішею миші, та провести імпорт обраного файлу в атол (рис. 3.11). Атол дозволяє проводити імпорт кількох файлів, але для зручності в цьому проєкті ми використовуємо один файл.

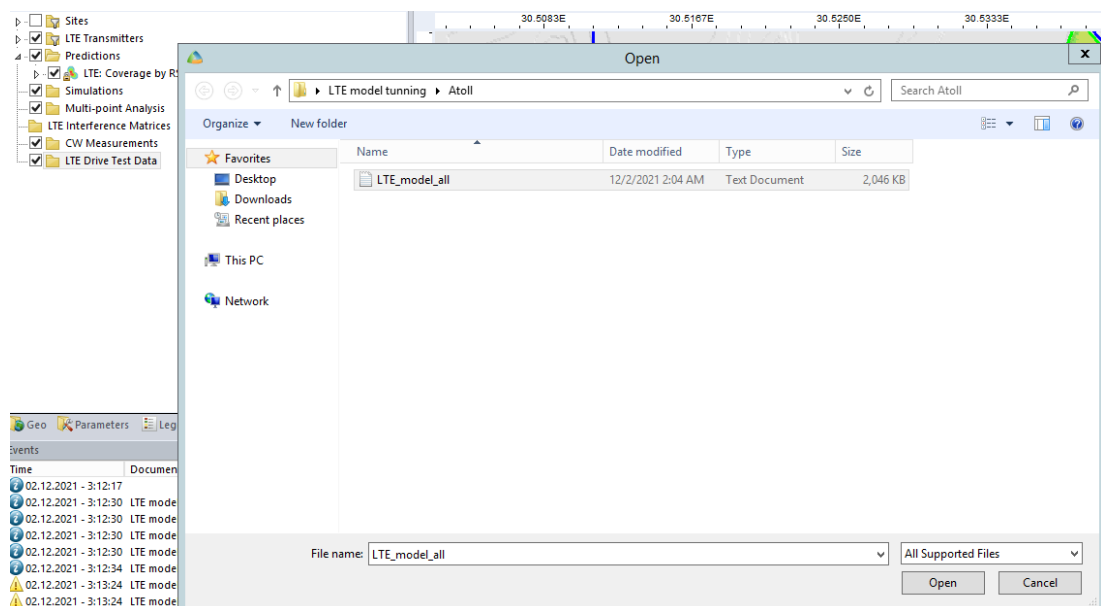


Рис. 3.11 Імпорт файлу із записними показниками мережі

Після того, як ми обрали необхідний файл необхідно провести деякі налаштування для коректного імпорту інформації. В першу чергу необхідно вказати систему географічних координат, що використовувалася програмою на телефоні при записі драйв-тесту мережі. Це особливо важливий пункт, оскільки без правильних координат, ми не зможемо провести калібрування розрахункової моделі покриття. Наступним пунктом вказуємо висоту розташування телефона під час запису драйв-тесту та підсилення антени, якщо ми використовуємо спеціалізоване обладнання (рис. 3.12).

The screenshot shows a 'Setup' dialog box with the following fields and values:

- Name:** LTE_model.all
- Receiver section:**
 - Height:** 2 m
 - Gain:** 0 dBi
 - Losses:** 0 dB
- Measurement conditions section:**
 - Units:** dBm
 - Coordinates:** WGS 84

Buttons at the bottom: Import all, Import, Cancel.

Рис. 3.12 Налаштування

На вкладці Setup необхідно вказати рядок з якого починаються вимірювання, а також, вказати тип даних для кожного стовпця з даними. Для стовпців, що містять інформацію про координати та силу сигналу, необхідно використовувати тип даних single, для інших стовпців, integer (рис. 3.13). Після чого, необхідно перейти в налаштування і вручну вибрати стовпці що

відповідають за координати, та вказати ім'я стовпця в якому у нас знаходяться PCI індекси стільників (рис 3.14).

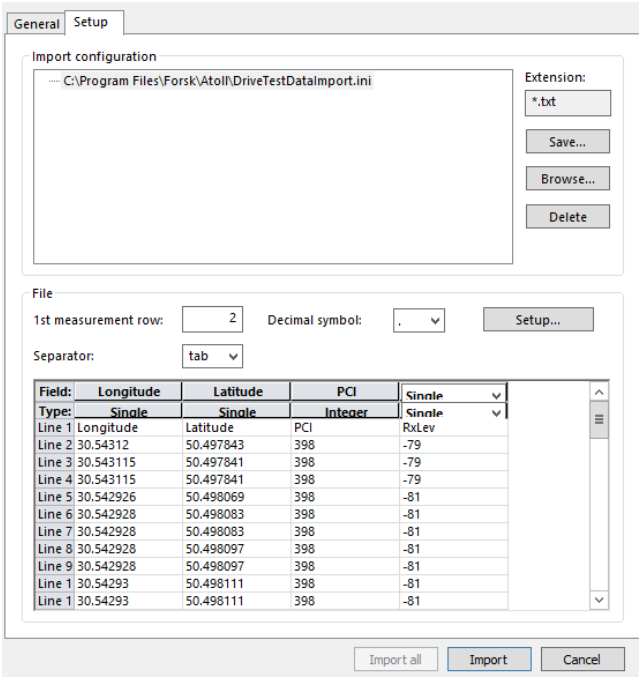


Рис. 3.13 Встановлення типу даних для стовпців

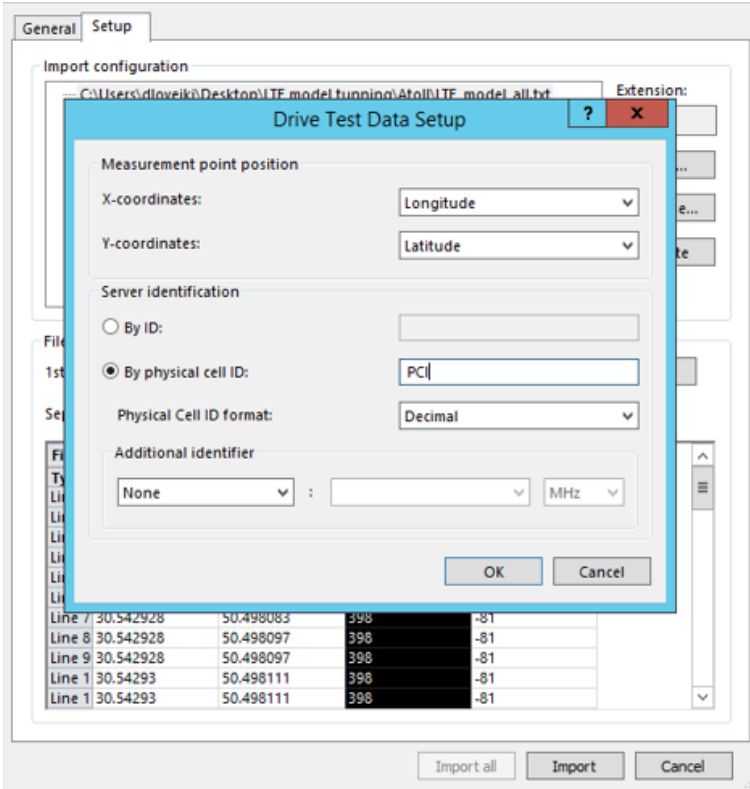


Рис. 3.14 Налаштування імпорту

Після пророблених маніпуляцій на вибраному кластері повинні з'явитися точки зі прив'язаними показниками сили сигналу мобільної мережі. Таким чином на карті формується загальний маршрут драйв-тесту (рис. 3.15)

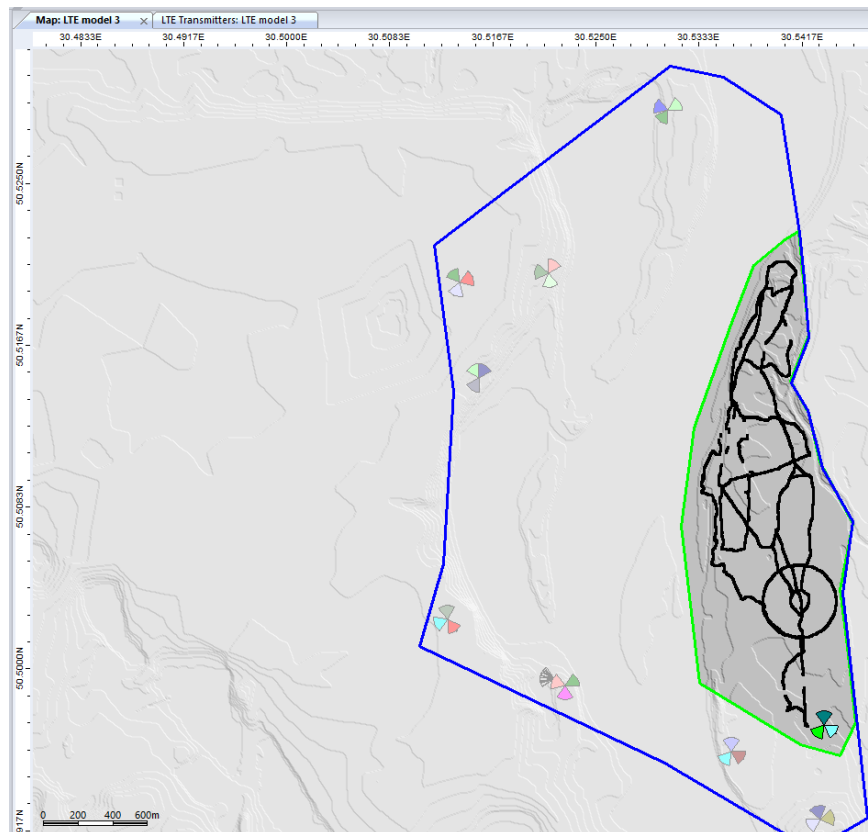


Рис. 3.15 Маршрут драйв тесту

Для того, щоб розбити вхідний файл між стільниками мобільної мережі необхідно провести операцію `extract sw measurements` (рис. 3.16). Дана операція створить додаткові розділи з назвами стільників, що фіксував телефон у розділі `sw measurements`. Це робиться для того, щоб далі можна було порівняти рівні розбіжностей RSRP для розрахованого сигналу та записаного телефоном, окремо для кожного стільника. На цьому етапі можна встановити фільтр для того, щоб прибрати стільники з проєкту які містять невелику кількість записів. Додатково можливо налаштувати мінімальні та максимальні рівні RSRP що будуть використовуватися для калібровки моделі, а саме межі від -47 до -110 дБм (рис. 3.17). Це обумовлено тип, рівень -40 дБм

є максимальний для показника RSRP, при показниках нижче -110 дБм складно забезпечити високу якість послуг мобільної мережі це обумовлено прийнятною антеною телефона, та її низькою ефективністю для розпізнавання слабких сигналів. Це було проілюстровано на таблиці з рівнями сусідів, де кожний наступний сусід знаходився далі, від попереднього.

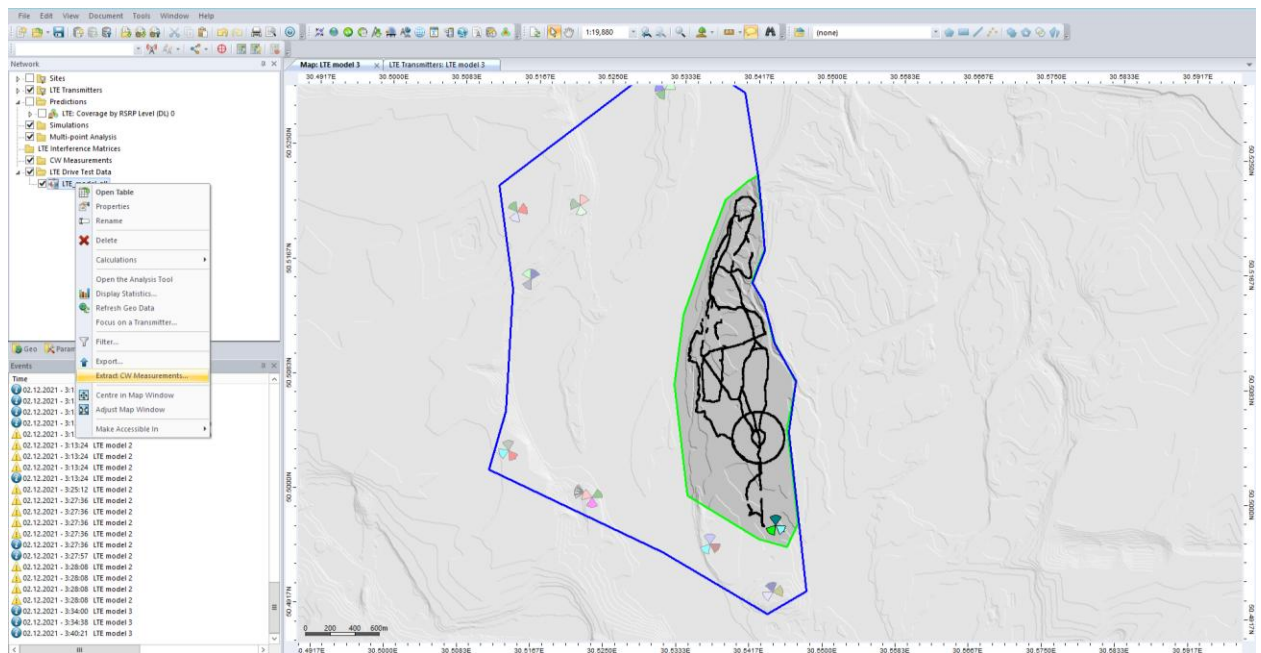


Рис. 3.16 Експорт даних з вимірюваннями

The image shows the 'CW Measurement Extraction' dialog box. It has a title bar with a question mark and a close button. The main content area is divided into sections. The first section, 'Extract CW measurements', contains two dropdown menus: 'For the following transmitters:' set to '(All)' and 'Select the measured signal levels:' set to 'RxLev'. The second section, 'Extraction parameters of CW measurement Paths', contains two input fields: 'Min number of points to extract per measurement path:' set to '500' and a range for 'Measured signal levels' from '-110' to '-47'. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Рис. 3.17 Допустимі межі для рівня RSRP

Для розрахунку покриття для кожної окремої точки в драйв-тесті, необхідно використати функцію calculation у розділі cw measurements (рис. 3.19-3.20). За своїм принципом, розрахунок буде аналогічний до минулого, за винятком візуалізації. Результати розрахунку запишуться в таблицю поруч з показниками RSRP мережі, що виміряв тестовий телефон. Перед початком розрахунку, необхідно переконатися, що обрана та саме модель, яку необхідно відкалібрувати (рис. 3.18).

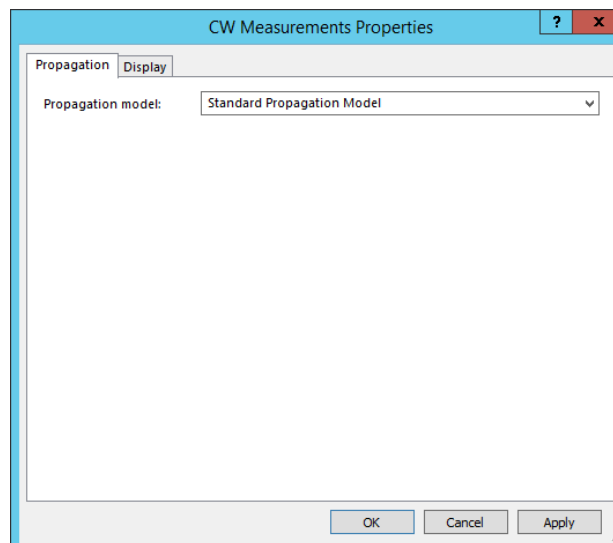


Рис. 3.18 Обрана модель для розрахунків

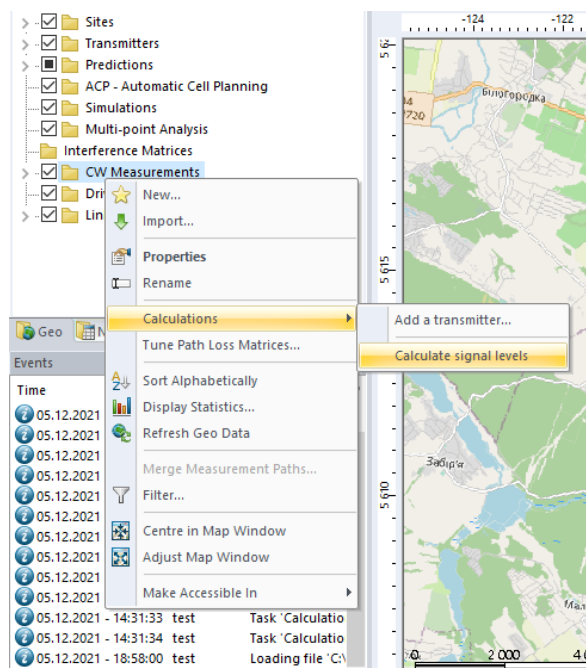


Рис. 3.19 Розрахунок рівнів RSRP для точок з драйв-тесту

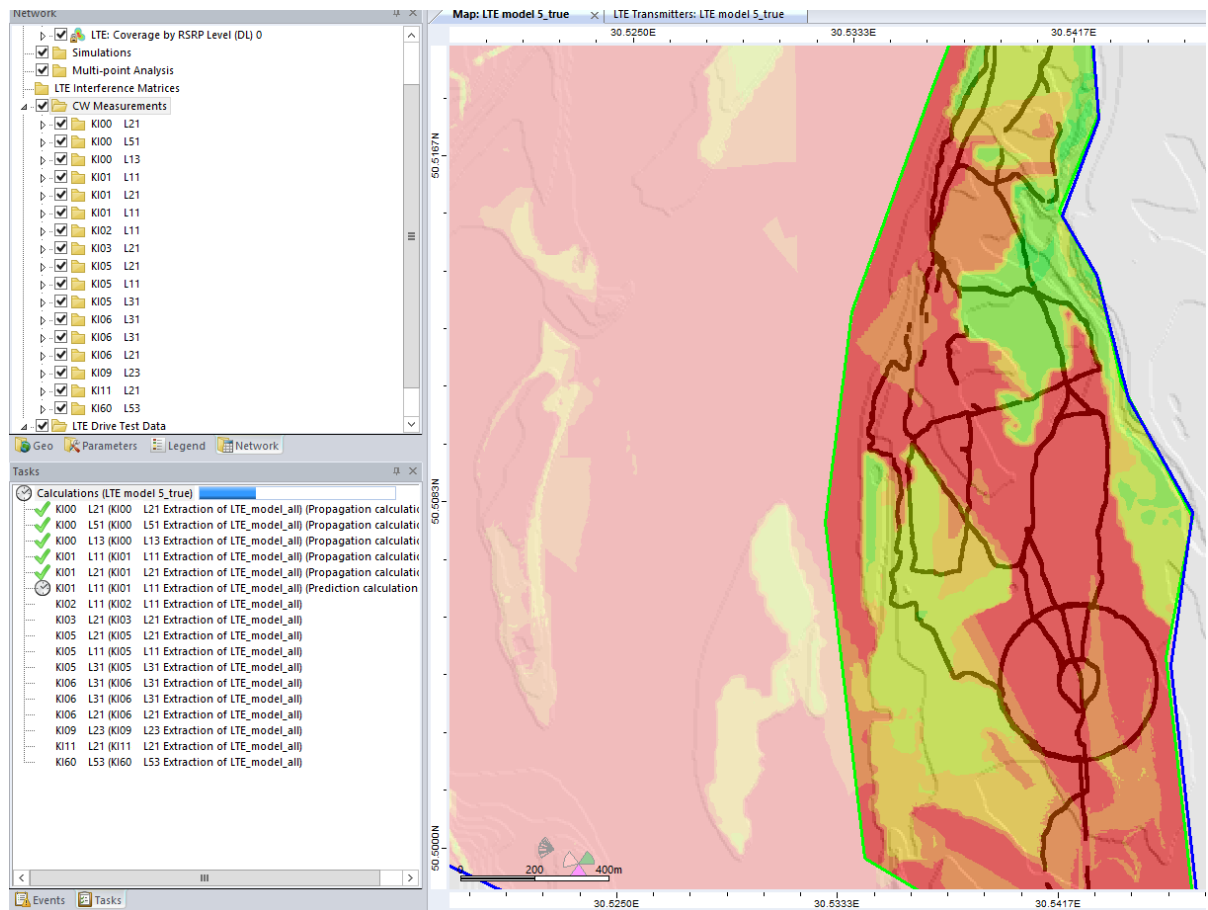


Рис. 3.20 Процес розрахунку

Для аналізу розходження реальних показників мережі з розрахунковими, використаємо функцію display statistics, тим самим ми згенеруємо звіт який проілюструє наявні розбіжності між показниками. Це буде відправною точкою для порівняння відкаліброваної моделі та звичайної.

На рисунку (рис 3.21) можна помітити показник standard deviation, він відповідає за середньоквадратичне відхилення показників PSRP моделі, від реальних значень. Гарним значенням для цього показника вважають значення 8 і нижче. Можна помітити, що стандартна модель має значення 9.19, що є непоганим результатом, однак його можна покращити ще більше.

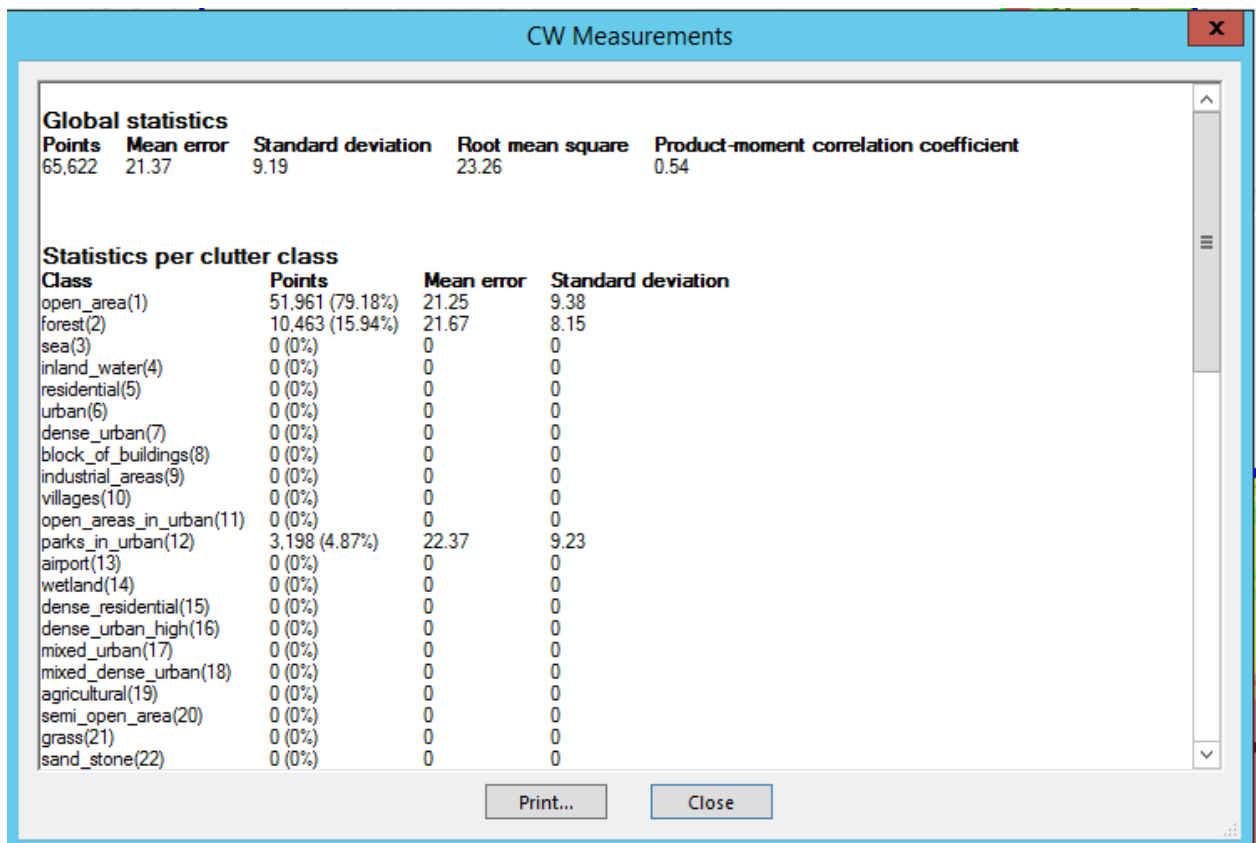


Рис. 3.21 Показник середньоквадратичного відхилення сили сигналу RSRP для стандартної моделі розрахунку радіопокриття

Для уточнення результату, необхідно встановити додатковий фільтр на вкладці cw measurements. Він буде відповідати мінімальну та максимальну дистанцію від телефона до стільника, а також за азимута. Для того, щоб уникнути віддзеркалених хвиль, необхідно видалити з файлу стільники, що розташовані поза допустимими межами кутів від -45° до $+45^\circ$ відповідно до тестового пристрою (рис. 3.22). Такі дії допоможуть відсіяти всі зайві стільники й залишити в проєкті тільки ті, що направлені в сторону проведення драйв-тесту [19].

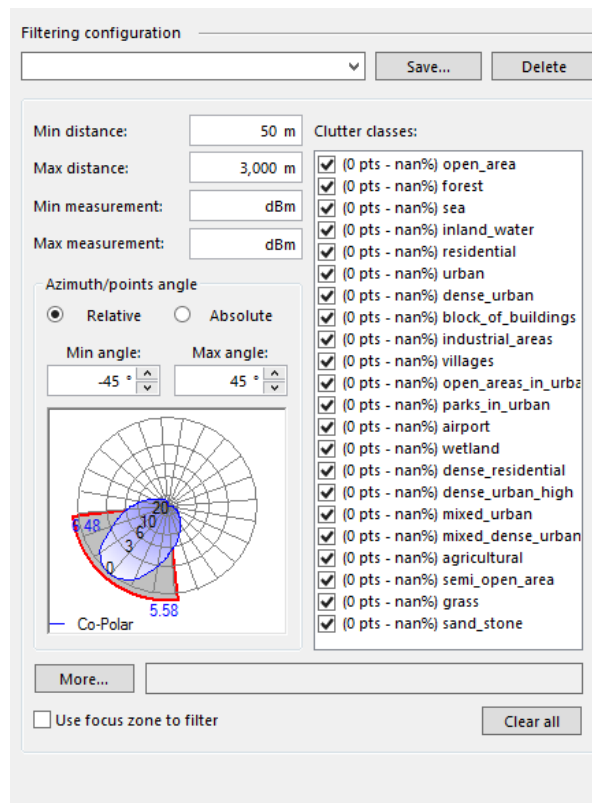


Рис. 3.22 Встановлення фільтрів за фактом місцезнаходження стільника до тестового пристрою

Якщо розкрити теку *sw measurements* для окремого стільника базової станції, ми зможемо вивести на екран графік з показниками значень RSRP. Синім кольором виділений графік розрахованого рівня сигналу RSRP, червоним реальний показник RSRP, що був записаний тестовим телефоном під час проведення драйв-тесту. Загальна тенденція цих двох показників на проміжку часу проведення тестування дуже схожа. Суттєво відрізняються тільки рівень потужності сигналу, у середньому на 15-20 дБм, що досить багато. Розглянемо представлені приклади (рис. 3.23 – рис. 3.25).

Після аналізу показників і встановленні всіх необхідних фільтрів, які були визначені у минулих пунктах, ми можемо розпочинати каліброву розрахункової моделі радіопокриття. Варто додати, калібрування буде проводитися на базі тої інформації і тих стільників, що є активними у вкладці *sw measurements*. Тому перед початком процесу калібрування, необхідно

додатково перевірити коректність встановлених фільтрів, назви стільників та загальні налаштування вкладки cw measurements.

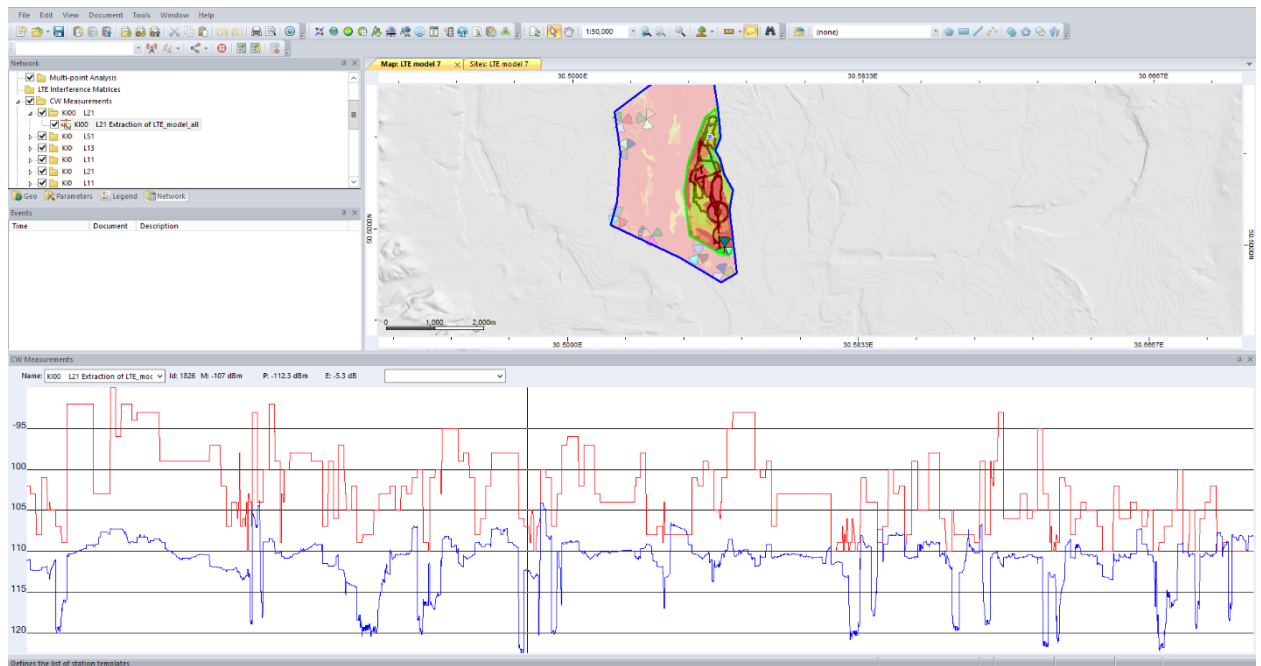


Рис. 3.23 Графік розбіжності виміряних та розрахованих показників RSRP для стільника 1

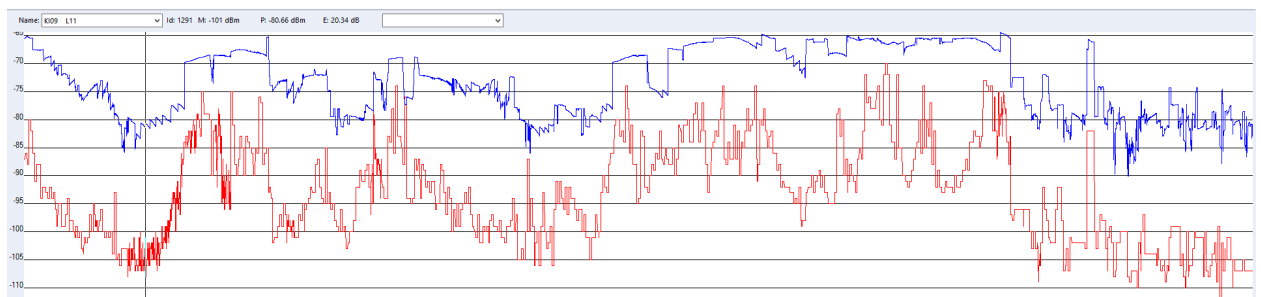


Рис. 3.24 Графік розбіжності виміряних та розрахованих показників RSRP для стільника 2

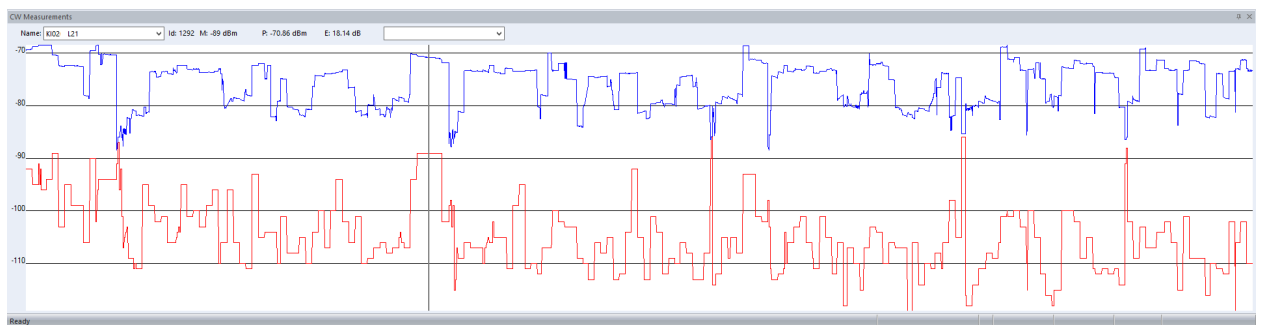


Рис. 3.25 Графік розбіжності виміряних та розрахованих показників RSRP для стільника 3

3.3 Калібрування розрахункової моделі Forsk Atoll

Для проведення калібрування, необхідно вибрати модель зі списку, натиснути правою клавішею миші та розпочати калібрування моделі (рис.3.26). Після закінчення процедури, програма автоматично згенерує звіт. Порівняти отримані результати відкаліброваної моделі та звичайної, ми зможемо за допомогою показника standard deviation.

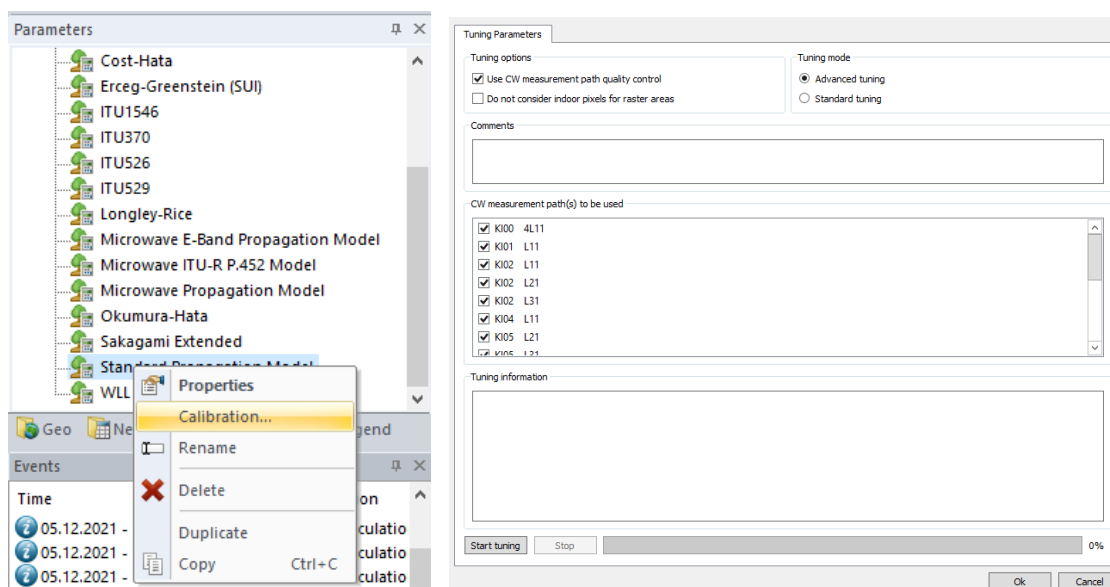


Рис. 3.26 Калібрування обраної моделі радіопокриття

Відкалібрована модель має показник standard deviation сягає 7.33, що є відмінним результатом. Також можна додати, що кількість використаних точок в проєкті зменшилась на 42 422, до 22 300. Це обумовлюється використанням фільтрів, що відсіяли не оптимальні стільники для цього проєкту.

Analysis Parameters		Analysis Performances 1					
Performance	Nb points (used/total)	Min error	Max error	Mean error	Std deviation	RMS	Corr factor
Global							
Global performance	23200/23200	-2.490	39.380	21.972	7.334	23.163	0.642
Morphologies							
FOREST_RELIEF	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used
FOREST_FLAT	21719	-2.490	39.380	21.858	7.500	23.109	0.645
OPEN_RELIEF	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used
OPEN_FLAT	1481	14.071	36.944	23.642	3.832	23.950	0.569
URBAN_RELIEF	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used
URBAN_FLAT	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used
SUBURBAN_RELIEF	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used
SUBURBAN_FLAT	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used
DENSE_URBAN_RELIEF	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used
DENSE_URBAN_FLAT	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used	Not used
CW measurement path(s)							
KI000 L11 (Macro)	60/60	10.616	16.172	14.606	1.450	14.676	0.805
KI01 L11 (Macro)	421/421	20.550	32.962	26.795	3.493	27.021	0.445
KI02 L21 (Macro)	3935/3935	0.099	38.707	28.995	6.065	29.622	0.424
KI04 L11 (Macro)	1020/1020	-2.490	25.694	12.423	8.308	14.943	0.530
KI05 L21 (Macro)	809/809	13.425	27.059	23.378	2.798	23.545	0.857
KI05 L11 (Macro)	406/406	19.979	38.612	27.545	4.141	27.854	0.276
KI06 L11 (Macro)	1746/1746	0.252	37.312	18.444	7.153	19.781	0.718
KI09 L11 (Macro)	13082/13082	-1.516	27.457	19.737	5.384	20.458	0.803
KI11 L31 (Macro)	1721/1721	9.648	39.380	29.238	5.575	29.765	0.568

Рис. 3.27 Звіт результатів калібрування моделі радіопокриття

Для порівняння якості розрахунку та змін, необхідно додатково розрахувати покриття вже для нової моделі, після чого відобразити статистику покриття для однакового кластера. Це дозволить об'єктивно оцінити ці дві моделі, та провести висновок саме для яких рівнів показника RSRP, помітні найбільші зміни (рис. 3.28-3.29).

Prediction	Legend	Zone Surface (km ²)	Surface (km ²)	% of Covered Area
LTE: Coverage by RSRP Level (DL) Stand		1.93107	1.930902	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -90		0.859495	44.5
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -95		1.166863	60.4
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -100		1.383012	71.6
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -105		1.72382	89.3
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -110		1.915337	99.2
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -115		1.930902	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -120		1.930902	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -125		1.930902	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -130		1.930902	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -135		1.930902	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -140		1.930902	100

Рис. 3.28 Відсоток покриття обраного кластера стандартною моделлю

Prediction	Legend	Zone Surface (km ²)	Surface (km ²)	% of Covered Area
LTE: Coverage by RSRP Level (DL) Calib		1.93107	1.9312	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -90		0.5124	26.5
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -95		1.04962	54.4
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -100		1.2627	65.4
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -105		1.4947	77.4
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -110		1.79207	92.8
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -115		1.9312	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -120		1.9312	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -125		1.9312	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -130		1.9312	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -135		1.9312	100
	RSRP Level (DL) (dBm) >= -140		1.9312	100

Рис. 3.29 Відсоток покриття обраного кластера відкаліброваною моделлю

Таблиця 3.2

Відмінності між моделями стандартної моделі та відкаліброваною

Zone	Legend	Surface (km)	% of Covered Area
Focus Zone		0,000298	0%
Focus Zone	RSRP Level (DL) (dBm) ≥ -90	-0,347095	-18%
Focus Zone	RSRP Level (DL) (dBm) ≥ -95	-0,117243	-6%
Focus Zone	RSRP Level (DL) (dBm) ≥ -100	-0,120312	-6%
Focus Zone	RSRP Level (DL) (dBm) ≥ -105	-0,22912	-12%
Focus Zone	RSRP Level (DL) (dBm) ≥ -110	-0,123267	-6%
Focus Zone	RSRP Level (DL) (dBm) ≥ -115	0,000298	0%
Focus Zone	RSRP Level (DL) (dBm) ≥ -120	0,000298	0%
Focus Zone	RSRP Level (DL) (dBm) ≥ -125	0,000298	0%
Focus Zone	RSRP Level (DL) (dBm) ≥ -130	0,000298	0%
Focus Zone	RSRP Level (DL) (dBm) ≥ -135	0,000298	0%
Focus Zone	RSRP Level (DL) (dBm) ≥ -140	0,000298	0%

Висновок

У ході виконання даного розділу, було досягнуто основну мету дослідження. Запропонована методика калібрування моделі розрахунку радіопокриття, суттєво підвищила точність розрахунку, та знизила середнє квадратичне відхилення між реальними та розрахованими значеннями показника RSRP.

Якісну оцінку отриманих результатів можна отримати, ґрунтуючись на даних останньої таблиці (табл 3.2). Найбільші зміни у розрахунку відбулися для рівнів -90 дБм та -105 дБм. Це вплинуло на загальну площу радіопокриття для цих рівнів і зменшило її на -18% та -12% відповідно.

Уточнену модель радіопокриття можна використовувати й надалі для розрахунку покриття мережі оператора, з частотою 1800 МГц. Для отримання найбільш достовірних результатів розрахунку покриття, розрахунки варто проводити на подібній місцевості без забудови.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проєкту

Проект направлений на підвищення точності розрахунку мобільних мереж операторів, з використанням методики калібрування розрахункових моделей програмного забезпечення Forsk Atoll. Такий підхід дозволить оператору мобільного зв'язку точно розраховувати покриття в мобільній мережі [4]. Висока точність розрахунку позитивно вплине на процес проєктування стільникової мережі підвищить загальну якість наданих послуг абонентам мобільної мережі. Опис ідеї стартапу зазначений у таблиці нижче (табл. 4.1).

Таблиця 4.1
Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Метод калібрування радіопокриття дозволить операторам мобільного зв'язку підвищити точність розрахунку покриття стільникової мережі	1. Підвищення показників QoS та KPI. 2. Підвищення точності розрахунку програмного засобу Forsk Atoll	Оператори мобільного зв'язку зможуть проєктувати покриття стільникової мережі з високою точністю. Висока достовірність показників наявного радіопокриття дозволить заздалегідь визначити слабкі місця в мережі та запланувати модернізаційні роботи.

Порівнюючи з конкурентами, в першу чергу увага надається простоті та ефективності запропонованого методу. Запропонована методика не потребує значних економічних витрат і дозволяє проводити калібрування з високою точністю [3]. Порівняння з конкурентами, а також визначення переваг і недоліків наведено у наступній таблиці (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

No п/ п	Техніко- економічні характеристик и ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторон а)	N (нейтраль на сторона)	S (сильна сторон а)
		Мій проєк т	Pla net	TE MS			
1	Використання безкоштовног о програмного забезпечення	так	ні	ні		так	
2	Непередбачув ане зростання вартості ліцен зії	так	ні	ні	так		
3	Гнучкість налаштування системи	так	так	так			так
4	Єдина підтримка апаратної та програмної частини мережевого обладнання від різних виробників.	Ні	ні	так			Так

Конкуренти володіють подібним функціоналом, який реалізований в даному проєкті. Серед сильних сторін визначені використання безкоштовного програмного комплексу та можливості гнучкого налаштування та конфігурування. Слабкою стороною є вимога використовувати обладнання від різних вендорів, оскільки у різних мобільних телефонів буде відрізнятися схема реалізації приймально-передавальної антени [4].

4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Таблиця 4.3

Технологічна здійсненність ідеї проєкту

No п/п	Ідея проєкту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Калібрування розрахункових моделей Forsk Atoll	Мова програмування Python, ПЗ G-NETtrack, ПЗ Google earth	Існуючі бібліотеки, такі як libpq, спеціалізоване програмне забезпечення для запису хронології показників мобільної мережі	Є доступними та безкоштовними для використання
2		ПЗ для роботи з картами QGIS, ПЗ Network cell info	Вільна крос-платформена геоінформаційна система, спеціалізоване програмне забезпечення для запису хронології показників мобільної мережі	Є доступними та безкоштовними для використання
Обрана технологія реалізації проєкту: мова програмування Python, ПЗ G-NETtrack, ПЗ Google earth				

Для реалізації проєкту буде необхідно використовувати наступні програмні засоби:

Python використовується для вирішення великої кількості задач, в різних умовах, внаслідок великої кількості бібліотек та простоті використання.

ПЗ G-NETtrack використовується на мобільних пристроях і дозволяє записати повну хронологію показників стільникової мережі.

ПЗ Google earth дозволить заздалегідь планувати точний маршрут для драйв тесту, а також буде корисною для ознайомлення з місцевістю проведення тесту.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

При дослідженні ринкових можливостей, в першу чергу проведений аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку. Дані наведені у таблиці нижче (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж	?
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Немає
5	Специфічні вимоги для стандартизації, специфікації	Немає

Враховуючи загальну динаміку інтеграції нових стандартів зв'язку, щорічна кількість базових станцій та щільність мережі – зростає. Чим щільніше спроектована мобільна мережа, тим більш вона чутлива до точності проєктування [4]. Підвищити точність проєктування допоможуть відкалібровані моделі радіопокриття. За попереднім оцінюванням ринок є привабливим для входження.

Таблиця 4.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Утримання клієнтів	Оператори мобільного зв'язку	Калібрування моделі радіопокриття дозволить підвищити загальну точність розрахунку сили сигналу на 8-10%. Запропонована методика калібрування, буде актуальна для різних мобільних мереж (2G, 3G та 4G).	<ul style="list-style-type: none"> • Дотримання високої точності та достовірності до показників мережі. • Впровадження систем автоматизації обробки файлу для показників мобільної мережі. • Мінімізація часових витрат на проведення драйв-тесту мережі • Розробка та калібрування універсальної моделі радіопокриття, як для міста, так і для відкритого простору.

Таблиця 4.6

Фактори загроз

No п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Відсутність зацікавленості у продукті	У операторів мобільного зв'язку можуть бути реалізовані подібні методики калібрування моделей.	Компанія буде спеціалізуватися на проведенні калібруванні моделей, що дозволить оптимізувати й суттєво пришвидшити процес калібровки. Окрім того, компанія буде виступати у ролі 3-ї незацікавленої сторони, що підвищить об'єктивність отриманих результатів.
2	Високі вимоги до обладнання	Кінцева якість калібрування моделей буде залежати від якості записаних даних. Це висуває високі вимоги до якості телефону і приймальної антени.	Використання телефонів різних виробників та сегментів ринку, а також використання додаткового спеціалізованого обладнання. Таким обладнанням можуть слугувати сканери радіочастотного спектра.

Таблиця 4.7

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Тенденція попиту	У майбутньому очікується збільшення частотних діапазонів для мережі LTE. Калібрування моделей покриття для нових частотних діапазонів, буде цікавим операторам мобільного зв'язку. Окрім розширення основних частот для мережі LTE, у найближчі роки, повинна отримати старт мережа 5-го покоління 5G.	Просування продукту на всеукраїнський ринок з орієнтуванням на операторів мобільного зв'язку.

Таблиця 4.8

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції: олігополія	На ринку представлені декілька компаній, що поставляють подібні послуги розв'язання проблеми відтоку	Акцентування переваг продукту, що забезпечує використання комбінованих методів калібрування моделей
2. Рівень конкурентної боротьби: національний/інтернаціональний	Першим етапом є боротьба за ринок України з подальшим виходом на ринки інших країн	Маркетингова компанія в першу чергу орієнтована на захоплення місцевого ринку
3. Галузева ознака: внутрішньогалузева	Економічна боротьба з конкурентами відбувається в одній галузі економіки, пропонуються аналогічні послуги, що мають архітектурні відмінності у функціонуванні	Пропозиція суттєвих переваг у порівнянні з продуктами конкурентів у визначеній галузі економіки

Продовження Таблиці 4.8

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Конкуренція відбувається між послугами одного виду. За такої конкуренції значення набуває марка товару	Постійна робота над забезпеченням високого рівня іміджу компанії
5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Передбачається ведення конкурентної боротьби не шляхом зниження ціни на аналогічні послуги, а внаслідок новизни та унікальних характеристик технології, на якій базується функціонування системи	Акцент на унікальних характеристиках пропонованого товару та більш низькій ціні ліцензії
6. За інтенсивністю: марочна	Виведення товару на ринок передбачається під власною маркою, а також створення асоціації між назвою фірми та назвою мережевої архітектури радіомережі	Просування продукту компанії під визначеним брендом

Аналіз конкуренції в галузі за м. Київ

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Мережа оператора	Товари-замінники
	TEMS, Planet	Гнучкі ціни, Патент на продукт	Змінні витрати постачальників	Рівень чутливості до зміни цін на ліцензії	Ціна, лояльність споживачів
Висновки	Конкуренція не інтенсивна, кожен працює в окремому напрямі оптимізації мережі	Можливість входу в ринок висока. Потенційні конкуренти присутні	Постачальники можуть диктувати умови: ціни на послуги	Мобільні мережі висуюють досить жорсткі вимоги до проєктування. Оскільки мобільна мережа швидко зростає, необхідно забезпечити точне планування мережі.	Обмежень для роботи на ринку з боку товарів замінників на цей момент не існує

В результаті проведення аналізу таблиці 4.9, можна зробити висновок, що можливість виходу на ринок з огляду на конкурентну ситуацію є високою. Для виходу на ринок товар в першу чергу повинен пропонувати унікальні характеристики, які відсутні у продуктах конкурентів [4].

Таблиця 4.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Динаміка галузі	Проблема неточності розрахунку радіопокриття буде актуальним і для наступних поколінь мобільного зв'язку.
2	Концепція товару і послуги	Використання систем автоматизації дозволить пришвидшити методику калібрування моделей радіопокриття, що зменшить часові витрати на даний процес.
3	Після продажне обслуговування	Підтримка щодо використання системи після її продажу

Таблиця 4.11

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін методу підвищення точності розрахунку покриття

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з власною системою						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Динаміка галузі	3						✓	
2	Концепція товару і послуги	1					✓		
3	Після продажне обслуговування	2							✓

Таблиця 4.12

SWOT-аналіз стартап проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Висока якість • Більш лояльна цінова політика • Використання систем автоматизації 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Слабкий імідж компанії • Слабкий маркетинг • Мало оборотних коштів • Невідома торгівельна марка
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Нові технології • Потреби операторів • Тенденції попиту 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Продукти-замінники

Таблиця 4.13

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Малий бізнес	Переважно готові	Дуже високий	Низька	Легко
2	Всеукраїнські оператори мобільного зв'язку	Не готові	Дуже високий	Висока	Важко

Базові стратегії в обраних сегментах ринку представлені у таблиці 4.14

Таблиця 4.14

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія розвитку
1	Динамічний розвиток з використанням маркетингу та встановлення бізнес-контактів	Підняття рейтингу компанії шляхом маркетингу, встановлення конкурентоспроможних цін	Незалежність від посередника, який утримує кошти за свої послуги	Стратегія лідерства по витратах
2	Динамічний розвиток завдяки висвітленню унікальних характеристик	Унікальність послуг, для збільшення залежності оператора	Використання комбінованого підходу до методу калібрування моделей	Стратегія диференціації

Залежно від міри сформованості галузевого ринку, характеру конкурентної боротьби, необхідно обрати одну з трьох стратегій конкурентної поведінки: розширення первинного попиту, оборонну або наступальну стратегію або ж застосувати демаркетинг або диверсифікацію (табл. 4.11).

4.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Одним з ключових моментів маркетингу є продумана та ефективна маркетингова стратегія. Стратегічні рішення по продуктах є чільними в рамках загальної маркетингової стратегії туристичного підприємства. Це зв'язано з тим, що продукт служить ефективним засобом впливу на ринок, головною турботою підприємства і джерелом одержання прибутку [3]. Крім того, він являє собою центральний елемент комплексу маркетингу. Ціна,

збут, комунікації ґрунтуються на особливостях продукту. Якщо товар не в змозі задовольнити покупця і його потреби, то ніякі додаткові витрати та зусилля, пов'язані з використанням інших елементів маркетингу, не зможуть поліпшити позиції компанії на ринку [4].

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (табл.4.15).

Таблиця 4.15

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентом
1	Запис хорології показників стільникової мережі.	Дотримання високої точності та достовірності показників мережі.	Комбінований підхід до розв'язання цієї задачі
2	Отримання переліку показників які впливають на зниження якості мережі	Відображення на карті програми, точок, де якісні показники мобільної мережі найгірші	Наочне подання інформації для більшої зручності користування
3	Демонстрація розбіжностей моделей	Отримання таблиці яка буде порівнювати для яких саме рівнів RSRP відбулися зміни.	Наочне подання інформації для більшої зручності користування

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточняється ідея продукту та послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 4.16).

Таблиця 4.16

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Товар забезпечує точність розрахунку радіо покриття
2. Товар у реальному виконанні	<p>Властивості: доступність, цілісність, зручність, прозорість.</p> <p>Товар являє собою поєднання апаратної частини телефону, програмного засобу для фіксації показників мережі, серверу, та мови програмування Python.</p> <p>Товар буде поставлятися у вигляді файлу конфігурації для моделей радіопокриття для програмного засобу Forsk Atoll.</p> <p>Назва: UCR-Universal Calibration for Radio</p>
3. Товар із підкріпленням	<p>До продажу: відбувається інсталяція, конфігурування системи з додатковими тренінгами для клієнта</p> <p>Після продажу: відбувається підтримка моделей, їх доопрацювання під потреби клієнта</p>
Конфігураційний комплекс, що забезпечує розв'язання проблеми якості розрахунку покриття розповсюджується на основі ліцензії, захисту підлягає програмний код системи обробки даних та її програмна реалізація.	

Таблиця 4.17

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення
1	Консервативна поведінка, але відкриті до нового,	Соцмережі професійного спрямування, корпоративна пошта	Можливості отримання переліку параметрів та абонентів	Висвітлити унікальні характеристики продукту

У якості концепції маркетингових комунікацій були обрані інтегровані маркетингові комунікації, де компанія ретельно обмірковує і координує роботу своїх численних каналів комунікації, особистий продаж, стимулювання збуту, пропаганду, прямий маркетинг.

Висновок

В даному розділі був проведений маркетинговий аналіз перспектив реалізації методики підвищення якості розрахунку для програмного засобу Forsk Atoll, та проведене оцінювання можливостей її ринкового впровадження.

В результаті дослідження визначено, що існує можливість ринкової комерціалізації проєкту в першу чергу завдяки комбінованому підходу до розв'язання проблеми.

Конкурентна ситуація надає перспективи впровадження продукту, через те, що продукція товарів-аналогів має лише частковий функціонал реалізованої системи. В результаті існуючі товари-аналоги не створюють прямої конкуренції на ринку України. [3] Основною проблемою є висока чутливість методу до використовуваного обладнання, та місяця проведення калібрування для всеукраїнських операторів мобільного зв'язку.

Проведений аналіз підтверджує, що подальша імплементація проєкту є доцільною.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Мережа LTE суттєво відрізняється від мереж минулого покоління завдяки використанню принципу All IP Network, що дозволяє повністю відмовитися від комутації голосових каналів. Розглядаючи питання якості надання послуг в мережі LTE, були відзначені основні критерії QoS і QoE, та їх складові. Ватро відзначити, що критерій оцінки QoE формується в залежності від сприйняття абонентом загальної якості послуги.

На загальну якість мережі може суттєво вплинути некоректне налаштування системи розпізнавання різних стільників за допомогою PCI індексів. Це може призвести до неоптимального з'єднання між мобільною станцією абонента та базовою станцією оператора. Встановлений сеанс зв'язку в подібних умовах буде мати низьку якість каналу, що своєю чергою знизить загальний рівень QoE для користувача. Тільки після коректного налаштування PCI та виправлення проблеми захоплення абонентів поза розрахунковою зоною покриття, можливо домогтися рівномірного навантаження на мережу.

Програмний засіб Forsk Atoll надає операторам мобільного зв'язку гнучке середовище для проектування своїх мереж, саме тому операторами мобільного зв'язку у понад 140 країнах світу, було високо оцінено можливості програмного комплексу.

Основна мета дослідження була досягнута. Запропонована методика калібрування моделі розрахунку радіопокриття, дозволила вирішити проблему неточності розрахунку стандартної моделі радіопокриття. Відкалібрована модель підвищила точність розрахунку, та знизила середнє квадратичне відхилення між реальними та розрахованими значеннями показника RSRP. Уточнену модель радіопокриття можна й надалі використовувати для розрахунку покриття мережі оператора.

В результаті дослідження визначено, що існує можливість ринкової комерціалізації проекту в першу чергу завдяки комбінованому підходу до розв'язання проблеми. Конкурентна ситуація надає перспективи

впровадження продукту, через те, що продукція товарів-аналогів має лише частковий функціонал реалізованої системи. В результаті існуючі товари-аналоги не створюють прямої конкуренції на ринку України. Основною проблемою є висока чутливість методу до використовуваного обладнання, та місяця проведення калібрування для всеукраїнських операторів мобільного зв'язку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дипломна робота «Управління ресурсами та якістю в мережах LTE» Ловеїкін Д.Ю. 2020
2. А.Е. Рыжков, М.А. Сиверс, В.О. Воробьёв, А.С. Гусаров, А.С. Слышков, Р.В. Шуньков Системы и сети радиодоступа – СПб: Линк, 2012. – 226 с.
3. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТІВ КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська КПІ ім. Ігоря Сікорського 2019 – 188с.
4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей, Київ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» 2016 – 28с.
5. 3GPP LTE Radio layer 2, 2010 – 44 с.
6. Рекомендация МСЭ-Т G.107 2015 –30с.
7. 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband Erik Dahlman – Stefan Parkvall, and Johan Sköld, 2011–447с.
8. 3GPP TS 36.213 version 12.3.0 Release 12
9. Self-Organizing Networks (SON) in 3GPP Long Term Evolution Sujuan Feng, Eiko Seidel Nomor Research GmbH, Munich, Germany 20th of May 2008 – 15с.
10. Г.Ю. Бишовець – Використання технології частотно-ортогонального Мультиплексування в LTE.
11. LTE signaling, Troubleshooting, And optimization – Ralf Kreher and K arsten Gaenger 2011 – 296с.
12. Transmission Techniques for 4G Systems – Mário Marques da Silva, Américo M. C. Correia,Rui Dinis, Nuno Souto, and João Carlos Silva 2015-337с.
13. EPC and 4G Packet Networks: Driving the Mobile Broadband Revolution 2012 – 624с.
14. Design, Deployment and Performance of 4G-LTE Networks: A Practical Approach 2014 – 587с.

15. Heterogeneous Networks in LTE-Advanced – Joydeep Acharya, Long Gao, Sudhanshu Gaur 2014 - 296c.
16. 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband – Stefan Parkvall, Johan Skold 2011 – 481c.
17. <https://www.forsk.com/atoll-afp-and-acp-modules>
18. <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/rsrp-rsrq-measurement-lte>
19. Forsk. 2016. “Atoll 3.3.2 User Manual for Radio Networks,” France.
20. N. Shabbir, M. T. Sadiq, H. Kashif, and Rizwan Ullah. 2011. “Comparison of Radio Propagation Models for Long Term Evolution (LTE) Network,” *Int. J. Next-Generation Networks*, vol. 3, c. 27–41.