

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматичної, електроніки та телекомунікацій  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

### **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

магістр .  
(ступінь вищої освіти)

на тему

**Розробка мережі мобільного зв'язку селища міського типу**

Виконав: студент б курсу, групи 601дТТ  
спеціальності 172 «Електронні комунікації  
та радіотехніка»

Козина В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Жученко О.С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Штомпель М.А.

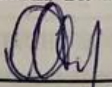
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і  
робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
 Ступінь вищої освіти Магістр  
 Спеціальність 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики,  
 електроніки та телекомунікацій

  
 О.В. Шефер  
 “ 04 ” 09 2023 р.

### ЗАВДАННЯ

#### НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

**Козині Владиславу Станіславовичу**

1. Тема проекту (роботи) «Розробка мережі мобільного зв'язку селища міського типу» керівник проекту (роботи) Жученко Олександр Сергійович, канд. техн. наук, доцент,  
 затверджена наказом вищого навчального закладу від «04.09» 2023 року № Звбфа
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 13.12.2023 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи): площа селища міського типу, тип технології мобільного зв'язку, прогнозована кількість абонентів, абонентське навантаження одного абонента.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз технології LTE; підготовка вихідних даних для проведення імітаційного моделювання в програмному середовищі Radio Mobile; імітаційне моделювання сегменту мережі мобільного зв'язку селища міського типу; результати імітаційного моделювання сегменту мережі мобільного зв'язку селища міського типу
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів): презентація обсягом не менше 5 слайдів.
6. Дата видачі завдання: 02.10.2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Приміт
1	Підготовка матеріалів до оглядово-аналітичної частини дипломної роботи	11.10.2023 р.	
2	Розробка розділу оглядово-аналітичного характеру	25.10. 2023 р.	
3	Розробка розділів спеціальної частини	14.11. 2023 р.	
		06.12. 2023 р.	
4	Підготовка демонстраційного матеріалу, доповіді, подання роботи на рецензію та затвердження	13.12.2023 р.	

Магістрант

(підпис)

Козина В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Жученко С.

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Аналіз технології LTE (4G) .....	7
2 Територіально-частотне планування мережі мобільного зв'язку селища міського типу.....	16
3 Підготовка вихідних даних для проведення імітаційного моделювання в програмному середовищі Radio Mobile .....	19
4 Імітаційне моделювання сегменту мережі мобільного зв'язку селища міського типу .....	30
5 Результати імітаційного моделювання сегменту мережі мобільного зв'язку селища міського типу.....	35
Висновки .....	49
Список використаних джерел .....	50
Додаток А. Analysis of LTE (4G) technology.....	51
Додаток В.....	56
Додаток С.....	57

## ВСТУП

Разом зі зростанням швидкості завантаження, зростає і об'єм інформації, яку ми хочемо зберегти та передати. Все частіше у мобільних телефонах з'являються розширені можливості для зберігання даних, такі як великі обсяги пам'яті, підтримка карт пам'яті та хмарних сервісів для зберігання файлів.

Однією з головних технологій, яка використовується в мобільних телефонах, є мобільний Інтернет. Це дозволяє нам підключатися до Інтернету з будь-якого місця, де є доступ до мережі мобільного оператора. Завдяки цьому можна легко отримати доступ до електронної пошти, соціальних мереж, медіафайлів та багато іншого.

Крім того, важливою частиною розвитку мобільних телефонів є їх операційні системи. На сьогоднішній день найпоширенішими операційними системами для мобільних телефонів є Android та iOS. Вони надають багато можливостей для користувачів, таких як встановлення додатків, просте керування налаштуваннями телефону та інші функції.

Загалом, розвиток мобільних телефонів та їх технологій є невід'ємною частиною нашого сучасного життя. Вони стали незамінними помічниками, які допомагають нам залишатися підключеними, отримувати і передавати інформацію та виконувати різні завдання в будь-який час і в будь-якому місці.

Все б це було неможливо без базових станцій. Кожен оператор розміщує такі станції у великих містах, селищах та селах. І саме ці базові станції служать провідником від нашого смартфона до глобальної мережі Інтернет. Кожна базова станція має свій діапазон частот та радіус поширення зв'язку.

Моделювання стільникового зв'язку здійснюється з використанням додатку Radio Mobile. Використовуючи цей додаток, проводиться визначення розташування базових станцій в смт. Царичанка та оцінка їх покриття сигналом.

Робота є актуальною, оскільки розвиток технологій мобільного зв'язку і вдосконалення стандартів дозволяють нам отримувати доступ до швидкого та

надійного інтернет-з'єднання, що є необхідним для багатьох сфер життя, включаючи бізнес, освіту, комунікацію та розваги. Розгортання систем стільникового зв'язку в місцевості, такій як смт. Царичанка, буде великим кроком у розвитку та покращенні комунікаційної інфраструктури, що в свою чергу сприятиме розвитку суспільства та економіки регіону.

У ході підготовки та виконання роботи автором була використана інформація, у тому числі текст, формули, рисунки, схеми, алгоритми, методики проведення аналізу, досліджень, визначення певних характеристик, параметрів та вихідних даних, розрахунків тощо, що міститься у джерелах [1 – 17], наведених у списку використаних джерел, а також інформація, отримана в результаті консультування з керівником роботи, науковими, науково-педагогічними працівниками та іншими особами, яка є неопублікованими авторськими напрацюваннями, дозволеними для використання автору цієї роботи виключно при виконанні тільки цієї роботи.

## 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ LTE (4G)

Для розуміння розвитку технології 4G (LTE) необхідно знати історію розвитку стільникового зв'язку. Починаючи з першого покоління (1G), яке було аналоговим і здатним лише до голосових викликів, стільниковий зв'язок еволюціонував до другого покоління (2G), яке вже підтримувало передачу даних. Технологія 2G мала можливість передавати цифрові дані, такі як SMS.

Третє покоління (3G) забезпечило ще більшу швидкість передачі даних, а також можливість використовувати відео зв'язок. Проте, технологія 3G все ще мала обмежену пропускну здатність та швидкість.

Технологія 4G (LTE) відзначається значним прискоренням передачі даних у порівнянні з 3G. Швидкість передачі даних в 4G досягає в середньому 10 Мбіт/с для рухливих пристроїв і до 1 Гбіт/с для стаціонарних. Окрім того, 4G працює з цифровими даними, що означає відсутність необхідності в окремому каналі для передачі голосу. Замість цього, голосові виклики здійснюються за допомогою протоколу VoIP, а для передачі даних використовується протокол IPv4, з можливістю майбутньої підтримки IPv6.

Стандарт LTE був започаткований на базі технології GSM/EDGE та UMTS/HSPA. Теоретично, швидкість передачі даних в LTE може досягати до 326,4 Мбіт/с в прийманні та до 172,8 Мбіт/с в передачі. Радіус покриття LTE залежить від станції і може бути від 5 до 30 км, а в разі необхідності - до 100 км.

На сьогоднішній день до 4G (LTE) входять два стандарти - WiMAX і LTE. WiMAX є еволюціонованою формою технології WiFi з більшою площею покриття, тоді як LTE є покращеною версією стандарту GSM. Термін LTE означає "довгострокова еволюція".

4G (LTE) - це стандарт, який відповідає сучасним вимогам передачі даних. Він також має переваги в плані простоти та доступності в облаштуванні, оскільки встановлення однієї базової станції набагато простіше, ніж прокладання багатьох

кабелів. Однак, технологія постійно модернізується, і наступним етапом є розвиток стандарту 5G (рисунок 1.1).

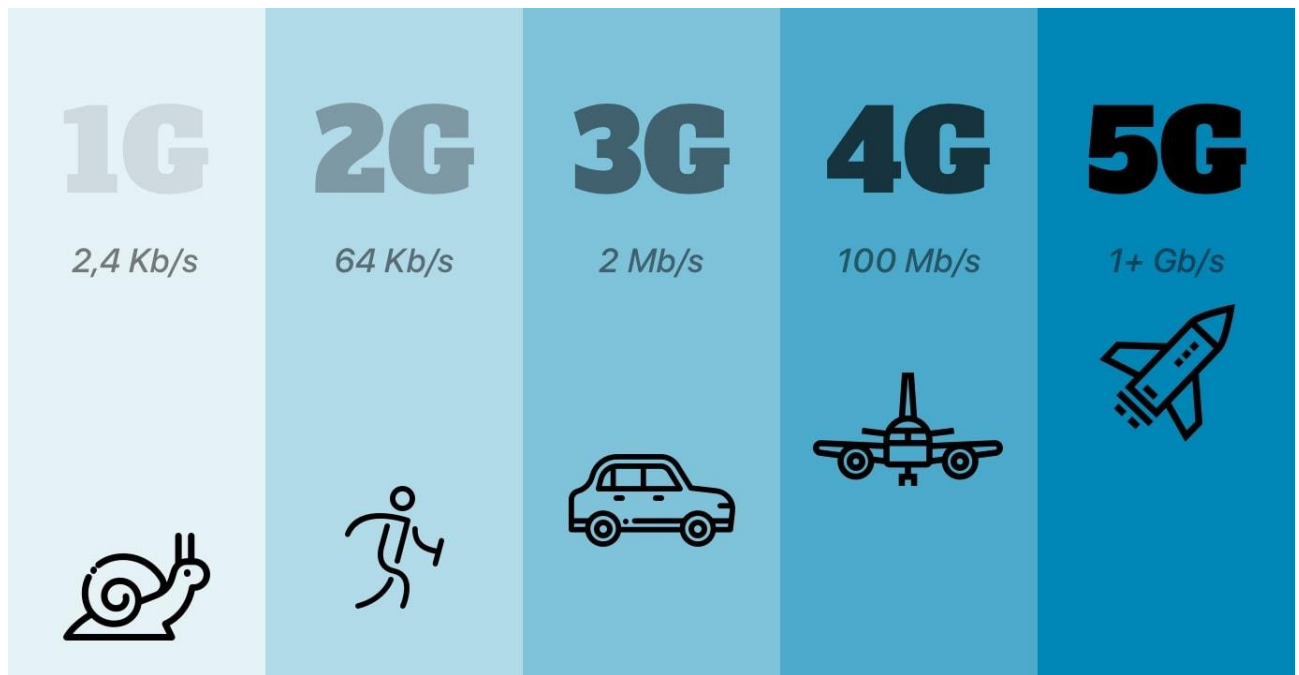


Рисунок 1.1 – Розвиток стандартів стільникового зв'язку

Таким чином розвиток стандартів стільникового зв'язку, стрімко розвивається, вдосконалюється, модернізується та не стоїть на місці, що являється необхідно для людства станом на сьогоднішній день.

Технологія LTE 4G являється наступним покоління після 3G та включає в себе наступні послуги:

- високошвидкісний доступ до інтернету;
- передача мультимедійного контенту (відео, аудіо, фото) ;
- відеозв'язок та конференц-зв'язок;
- мережеві ігри та онлайн-сторітелінг;
- передача даних в режимі реального часу (наприклад, для internet of things) ;
- покращений доступ до облікових записів у соціальних мережах та інтерактивних додатків;

- використання цифрових асистентів та голосових команд;
- мобільна реклама та маркетинг;
- покращені системи безпеки та захисту даних;
- розширені можливості для розробників мобільних додатків.

Мережа LTE (Long-Term Evolution) є однією з технологій мобільного зв'язку, яка забезпечує передачу даних з високою швидкістю. Вона базується на інфраструктурі IP-мережі і використовує обладнання GSM та WCDMA, що робить її сумісною з існуючими мережами.

Основною перевагою мережі LTE є широка полоса пропускання, яка може досягати 20 МГц. Це дозволяє передавати більше даних швидше. Мережа також має менші затримки і вдосконалену технологію пакетної передачі даних.

Додатковою функцією мережі LTE є Multiple Input Multiple Output (MIMO), яка використовується для передачі даних за допомогою декількох антен прийому та передачі. Це покращує якість зв'язку і забезпечує стійку передачу, особливо в умовах перешкод.

Frequency Selective Scheduling - це технологія, яка використовується для видалення частково-селективних затухань. Це дозволяє мережі працювати більш ефективно і забезпечує кращу якість зв'язку.

Мережа LTE є децентралізованою, з базовими станціями, які працюють незалежно одна від одної. Це зменшує перешкоди та забезпечує зручні умови для користувачів.

EPS (Evolved Packet System) - це система пакетної передачі даних, яка використовується в мережах LTE. Вона складається з оновленої мережі UMTS та покращеного центру комутації пакетів. Ця система забезпечує передачу даних з великою пропускнуою спроможністю, низькими затримками та великою шириною полоси пропускання.

LTE має переваги порівняно з попередніми стандартами мобільного зв'язку. Головні переваги:

- висока швидкість передачі даних, яка досягає до 100 Мбіт/сек в напрямленні вниз (20 МГц, 2x2 MIMO), та до 50 Мбіт/с – в напрямленні вгору (20 МГц, 1x2);

- максимальна швидкість 326 Мбіт/с з шириною каналу 20 МГц;
- максимальна швидкість віддачі 86.4 Мбіт/с з шириною каналу 20 МГц;
- обслуговування голосовими послугами, на кожні 5МГц щонайменше 200 активних користувачів;

- ширина пропускання в 4 рази більше, чим в попередніх стандартах;
- масштабована ширина каналу до 20 МГц, з різними (1.4, 2.5, 5,10, 15, и 20 МГц) кроками;

- на кордонах чарунки швидкість в декілька разів збільшується, покращується, швидкість передачі даних також на кордонах чарунки покращує значення спектральної ефективності;

- між обладнанням користувача та БС час відзиву до 10 мс, а час переходу в активне із неактивного стану складає 100 мс;

- розміри чарунки можуть різнитися від декількох десятків метрів до 100 км. В сільських місцевостях використовується нижні частотні діапазони та оптимальний розмір чарунки 5 кілометрів. Для міської місцевості розмір соти до 1 кілометру.

- можливість одночасно співпрацювати із старими стандартами;
- радіо інтерфейс комутації пакетів;
- LTE технологія оптимізована для використання IP технологій, а також підтримує пакетну передачу даних;

- мобільна підтримка покращена та вдосконалена;
- при встановленні з'єднання зменшилися затримки;
- висока інтерактивність;
- підтримуються ігри - онлайн.

Архітектура мережі LTE відрізняється від структури попередніх поколінь. Нова структура мережі повинна задовольняти високі потреби мережі до затримки передачі сигналів, при цьому повинна знизитись витрати на будівництво та обслуговування мережі LTE.

В першу чергу задачею розробки LTE, було спростити структуру мережі та виключити із системи однакові функції мережевих протоколів, котрі характерні для

системи 3G UMTS. Згідно специфікації LTE Release 8 групи 3GPP, мережа LTE складається із двох важливих компонентів, це мережа радіодоступа E-UTRAN та базова мережа SAE (System Architecture Evolution). В архітектурі стандарту LTE (рисунок 1.2) мережева взаємодія відбувається між блоками управління (MME) та базовою станцією (eNB). Блок управління (MME) включає в себе мережевий шлюз GW (Gateway). Мережа LTE на фізичному рівні складається із двох складових: мережа радіодоступу E-UTRAN та базова мережа SAE (System Architecture Evolution). Мережа радіодоступу E-UTRAN складається тільки із базових станцій eNB (evolved Node B). Базова станція з'єднуються між собою, та являються елементами мережі. На рівні L2 кожна eNB використовує два типи інтерфейсу – це S1, створений для управління (Control Plane), та другий X1, застосовується користувачем (User Plane). Також існує третій тип X2, він забезпечує управління базовими станціями eNBs мережі радіодоступу E-UTRAN. Кожна базова станція має в собі інтерфейс S1 з базовою мережею SAE, дана мережа побудована по принципу комутації пакетів. Також базову мережу SAE, називають EPC (Evolved Packet Core), вона має в собі вузли MME/UPC. В структурі LTE значною мірою були змінені підсистеми базових станцій (БС) та підсистема комутації, замінені були технології обміну терміналами користувача та базової станції (БС), також протоколи передачі інформації між мережевими елементами. Абсолютно вся інформація передається в виді пакетів.

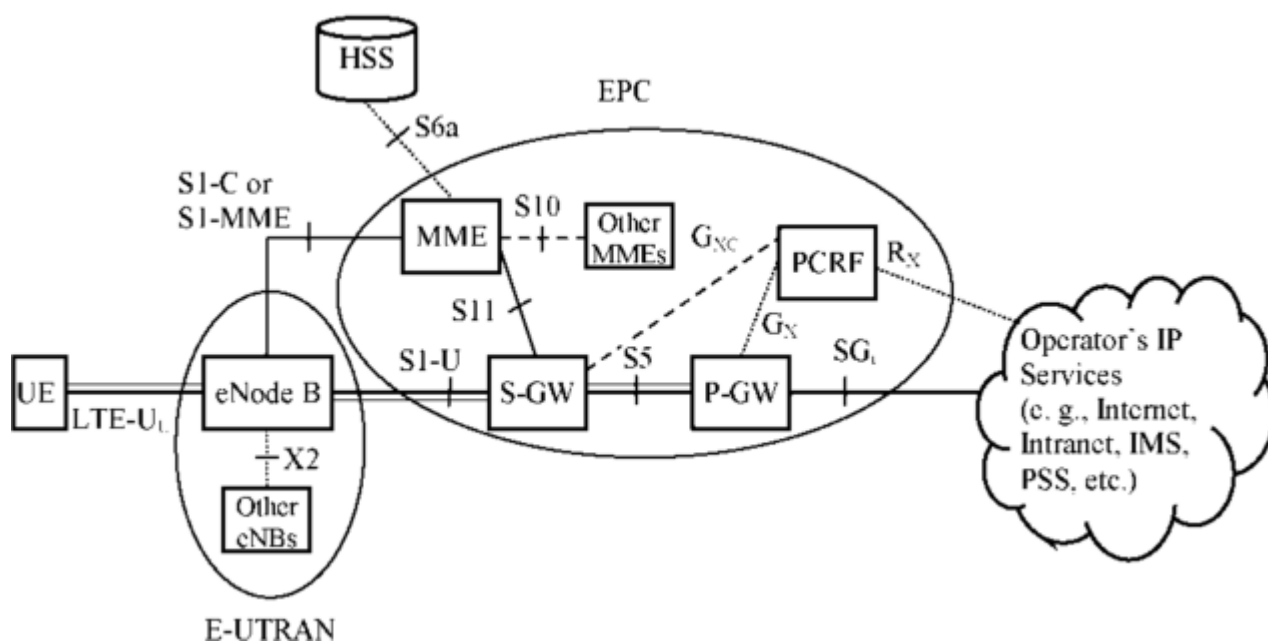


Рисунок 1.2 – Схема роботи мережі LTE

В мережі стандартів LTE , в системі комутації можна виділити декілька вузлів:

- Serving Gateway (SGW) це обслуговуючий шлюз;
- Public Data Network Gateway (PGW) це шлюз з'єднання з мережами других операторів;
- Mobility Management Entity (MME) – вузол управління мобільністю;
- Home Subscriber Server (HSS), це сервер абонентських даних;
- Policy and Charging Rules Function (PCRF) - вузол виставлення рахунків.

Кожен шлюз виконує свої функції, шлюз обслуговування Serving Gateway (SGW) виконує функцію обробки і маршрутизації пакетних даних із системи базових станцій. Обслуговуючий шлюз встановлює з'єднання з мережами 2G та 3G одного і того ж самого оператора. Шлюз з'єднання з мережами других операторів Public Data Network Gateway (PGW) призначений для маршрутизації інформації із мережі даного оператора. Шлюз реалізує забезпечення зв'язком UE з зовнішніми пакетними мережами та відповідає за трафік послуг. Для управління мобільністю клієнтів мережі LTE призначений вузол Mobility Management Entity(MME). Цей вузол організовує роумінг LTE та UTRAN (UMTS) , GERAN (GSM), забезпечуючи

таким чином мобільність серед мереж. Сервер абонентських даних Home Subscriber Server (HSS) об'єднує в одному пристрої всі реєстри. Вузол виставлення рахунків Policy and Charging Rules Function (PCRF) формує рахунки клієнтів за послуги зв'язку.

Вузли eNode B здійснюють радіообмін з користувачами UE (User Equipment), використовуючи при цьому системи шифрування OFDMA та SC-FDMA.

Базова мережа EPC (Evolved Packet Core), складається з вузлів MME/UPC. Mobility Management Entity (MME) – елемент який відповідальний за рішення задач управління мобільністю. MME взаємодіє з базовими станціями та виконує функції передачі повідомлень, викликів до eNB, також несе відповідальність за безпеку мережі, керує роумінгом. Другий елемент User Plane Entity, несе відповідальність за передачу даних користувачів, елемент UPC відповідає за шифрування потоків даних. Архітектура мережі SAE побудована на принципі все через IP, в якій здійснюється обмін голосовими даними а також всі послуги які працюють на технології комутації пакетних даних.

Huawei DBS3900 (рисунок 1.3) є базовою станцією для технології LTE, яка відповідає вимогам щодо ширини каналу 20 МГц. Вона забезпечує ефективний розділ каналів для пересилання даних в обидва напрямки - від базової станції до користувача (лінія вниз) і від користувача до базової станції (лінія ввверх).

DBS3900 має гнучку конфігурованість і може бути налаштована, щоб працювати в необхідних діапазонах частот - від 1800 МГц до 2600 МГц. Вона також підтримує передові функції, які забезпечують стабільну та швидку передачу даних, включаючи технологію MIMO (мультиплексування кількох вхідних-вихідних сигналів), що підвищує пропускну здатність мережі.

Обладнання фірми Huawei є відомим своєю якістю та надійністю. Воно також оцінюється за свою конкурентоспроможну ціну, що робить його оптимальним вибором для операторів зв'язку, котрі прагнуть поєднати якість та ефективність з економічністю. Huawei DBS3900 стане надійним та продуктивним обладнанням для розгортання і підтримки мережі LTE. LTE пропонує базову станцію яка

складається із двох блоків. Перший блок для обробки базових частот (BBU), та другого виносного радіочастотного блоку (RRU).

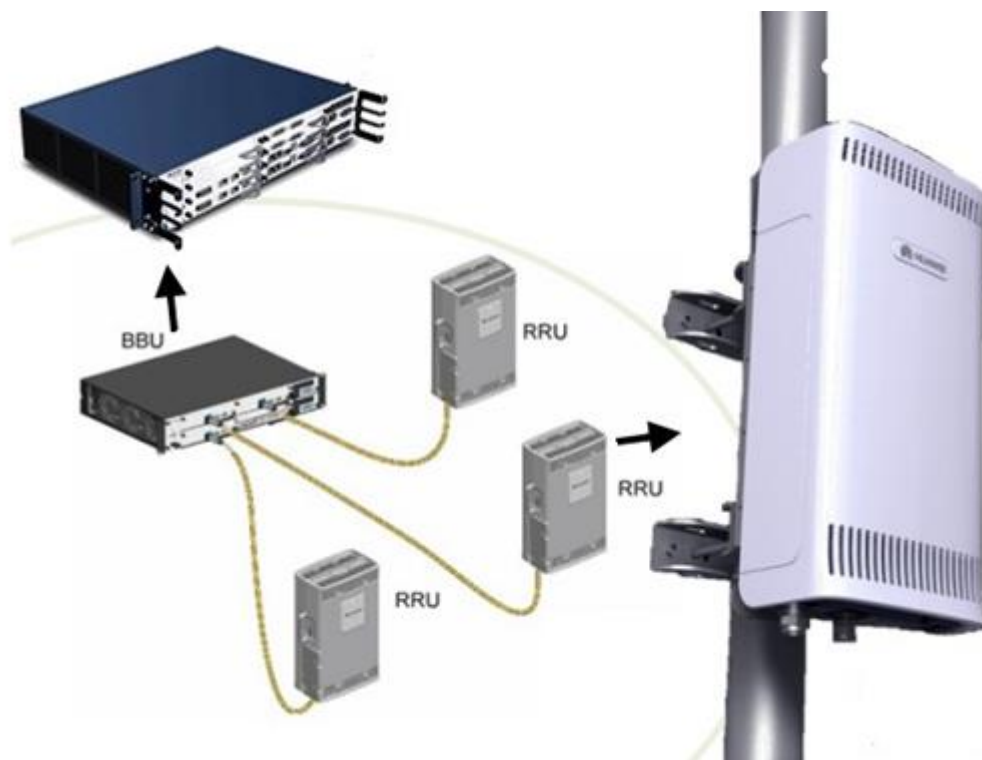


Рисунок 1.3 – Базова станція фірми Huawei DBS 3900

Також кращим рішенням в виборі абонентської станції в виді мобільного Wi-Fi роутера, буде Huawei E5372 (рисунок 1.4). Huawei E5372 також має підтримку швидкості передачі даних до 150 Мбіт/сек, що забезпечує швидкий та надійний інтернет у вашій мережі. Роутер має такі функції, як вбудований фаїрвол, функція QoS для керування швидкістю інтернет-з'єднання та можливість налаштування гостьової мережі. Крім того, роутер має компактний дизайн і працює на батареї, що дозволяє використовувати його в будь-якому місці. Huawei E5372 є відмінним вибором для тих, хто шукає надійний та потужний мобільний Wi-Fi роутер.

Даний Wi-Fi роутер підтримує стандарти: 4G LTE, 3G / 3,5G UMTS/DC-HSPA+ та 2G GSM/GPRS/EDGE.

Працює в наступному діапазоні частот:

- при 4G LTE: 1800 / 2100 / 2600 / 800 / 900 МГц;

- при 3G / 3,5G UMTS/DC-HSPA: 1900 / 2100 / 850 /900 МГц;
- при 2G GSM/GPRS/EDGE: 1800 /1900 /850 /900 МГц.



Рисунок 1.4 – Роутер Wi-Fi Huawei E5372

Швидкість передачі даних у 4G LTE FDD – до 150 /50Мбіт/сек, у 4G LTE TDD - до 112 / 10 Мбіт/сек. Потужність Wi- Fi роутера – 18дБм. Використовуються MIMO антени двох коефіцієнтів:

- панельна антенна MIMO 18 дБи, застосовується для місць з поганим сигналом або де взагалі сигналу не має;
- панельна антенна MIMO 10 дБи, застосовується в місцях поганого прийому мережі.

## 2 ТЕРИТОРІАЛЬНО-ЧАСТОТНЕ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ СЕЛИЩА МІСЬКОГО ТИПУ

Загальне число частотних каналів, виділених для мережі LTE визначається по формулі:

$$N_k = \text{int}(\Delta F / F_k),$$

$$N_k = \text{int}\left(\frac{50}{5}\right) = 10,$$

де  $\text{int}(x)$  - ціла частина числа  $x$ ;

$F_k$  – смуга частот радіоканалу (5 МГц);

$\Delta F$  – смуга частот системи, відведена на передачу й на прийом, 50 МГц (від 2,45 ГГц до 2,5 ГГц).

Число частотних каналів, які використовуються для обслуговування абонентів в одному секторі, визначається по формулі:

$$n_S = \text{int}(N_k / C \cdot N_S),$$

де  $N_S$  - число секторів,  $N_S = 1$ ,  $C = 3$ .

$$n_S = \text{int}\left(\frac{10}{3 \cdot 1}\right) = 3.$$

Величина припустимого навантаження в одному секторі визначається співвідношенням:

$$A = n_0 \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( P_B \sqrt{\pi \cdot n_0 / 2} \right)^{\frac{1}{n_0}}} \right]$$

за умови, що:

$$P_B \leq \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot n_0}},$$

де  $n_0 = n_S \cdot n_a = 3 \cdot 8 = 24$ ,  $P_B = 0,11$ ;

$n_a$  - число абонентів, які можуть одночасно використовувати один частотний радіоканал. У цьому випадку величина  $n_a = 8$ , тому що 8 підканалів при  $F_k=5$  МГц:

$$\sqrt{\frac{2}{\pi \cdot 24}} = 0,16.$$

Підкореневе вираження більше, ніж величина  $P_B$ , тому що  $0,11 < 0,16$ :

$$A = 24 \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( 0,11 \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot 24}{2}} \right)^{\frac{1}{16}}} \right] = 21 \text{ Ерл.}$$

При заданій активності одного абонента в годину найбільшого навантаження можна розрахувати число абонентів, які обслуговуються однією базовою станцією по формулі

$$N_{aBTS} = \text{int}(A/\beta) \cdot N_S,$$

де  $\beta$  – активність одного абонента в ГНН, Ерл.

$$N_{aBTS} = \text{int}(21/0,05) \cdot 3 = 1254.$$

Необхідна кількість базових станцій на заданій території обслуговування визначається співвідношенням:

$$N_{BTS} = \text{int}(N_a / N_{aBTS}).$$

де  $N_a$  - задане число абонентів, яких обслуговує Mobile LTE мережа зв'язку, 2800.

$$N_{BTS} = \text{int}(2800/1254) = 3.$$

Розрахунок радіуса зони обслуговування базової станції.

Величину радіуса можна визначити, використовуючи вираз

$$R = \sqrt{1,21 \frac{S_0}{N_{BTS} \cdot \pi}},$$

де  $S_0$  – площа обслуговування,  $S_0 = 10,85 \text{ км}^2$ .

$$R = \sqrt{1,21 \frac{10,85}{4 \cdot \pi}} = 1,18 \approx 1,2 \text{ км.}$$

Величина захисної відстані між BTS з однаковими частотними каналами визначається співвідношенням:

$$D = R\sqrt{3 \cdot C},$$

$$D = 1,2\sqrt{3 \cdot 3} = 3,6 \text{ км.}$$

## 3 ПІДГОТОВКА ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ RADIO MOBILE

Перед початком роботи з програмою Radio Mobile, я обрав селище міського типу Царичанка для створення стільникового зв'язку технології 4G. Щоб обрати селище міського типу Царичанка на карті рельєфу нам потрібно дізнатися координати за допомогою Google Earth та визначити де ми будемо розміщати базові та мобільні станції (рисунок 3.1).

Далі треба перейти до властивостей карти («Map properties»). Зауважимо, що курсор має горизонтальне положення із записом висоти (в метрах над рівнем моря), що відповідає перетину двох пунктирних ліній, які з'являються після клацання на карті. Сітка висот показує масив висот навколо горизонтальної позиції, що відображається в координатах широти/довготи, безпосередньо під сіткою висот. Щоб перемістити курсор, треба клацнути будь-де на зображенні карти або клацнути на будь-яку клітинку сітки висот. Елементи автоматично отримують висоту (у метрах над рівнем моря) з карти. Також можливе ручне введення висоти.

Виконуємо вищезазначені дії, у тому числі вибираємо вкладку «File», в ній вкладку «Map properties» після чого в пунктах «Latitude» та «Longitude» вбиваємо координати нашого селища та щоб все збереглося натискаємо «Extract» (рисунок 3.2):

1) координати:

– широта – 48°56'24" N;

– довгота – 034°28'12" E;

2) розмір ділянки: 30 км x 40 км;

Щоб ввести дані властивості станції, потрібно відкрити вікно «Networks properties» та виконати такі кроки.

1. У меню «File» вибрати «Networks properties».

2. Натиснути кнопку Net parameters.

3. Використати список усіх мереж, щоб вибрати мережу для редагування.

4. Відредагувати назву мережі та всі параметри розповсюдження радіохвиль.
5. Натиснути кнопку Net topology.
6. Поставити прапорець Visible і вибрати топологію Voice net.
7. Натиснути кнопку Systems.
8. Використати список усіх систем, щоб відредагувати стільки систем, скільки необхідно для опису мережі.
9. Натиснути кнопку Net membership.
10. Перевірити блоки на наявність у мережі. Для кожного підрозділу вибрати роль і систему.

Вводимо дані в «Parameters», «Topology», у вікні «Membership» змінюємо дані наших станцій та змінюємо дані у вікні «Systems». На рисунку 3.3 показано дані властивостей вузла. На рисунку 3.4 наведено дані вкладки властивостей мережі – Systems. На рисунку 3.5 наведено дані вкладки властивостей мережі – Membership. На рисунку 3.6 наведено дані вкладки властивостей мережі – Topology. На рисунку 3.7 наведено дані вкладки властивостей мережі Parameters (дані базової станції). На рисунку 3.8 наведено дані вкладки мобільних терміналів. На рисунку 3.9 наведено дані властивостей карти.

Таким чином, ми вводимо такі вхідні дані:

1. Base station:
  - Role: master;
  - Tx Power: потужність сигналу 50W, 47 dBm;
  - Line loss 0.5dB;
  - Antenna gain 6dBi; 3.85 dBd;
  - Radiated power EIRP=177.41W, ERP=108.18W;
  - antenna height: 8m.
2. Mobile station:
  - Role: slave;
  - Required E Field: 19.97dB $\mu$ V/m;
  - antenna gain:4dBi, 1.85dBd;
  - line loss: 0.5dB;
  - Rx sensitivity: 0.5 $\mu$ V, -113dBm;
  - Antenna height: 2m.

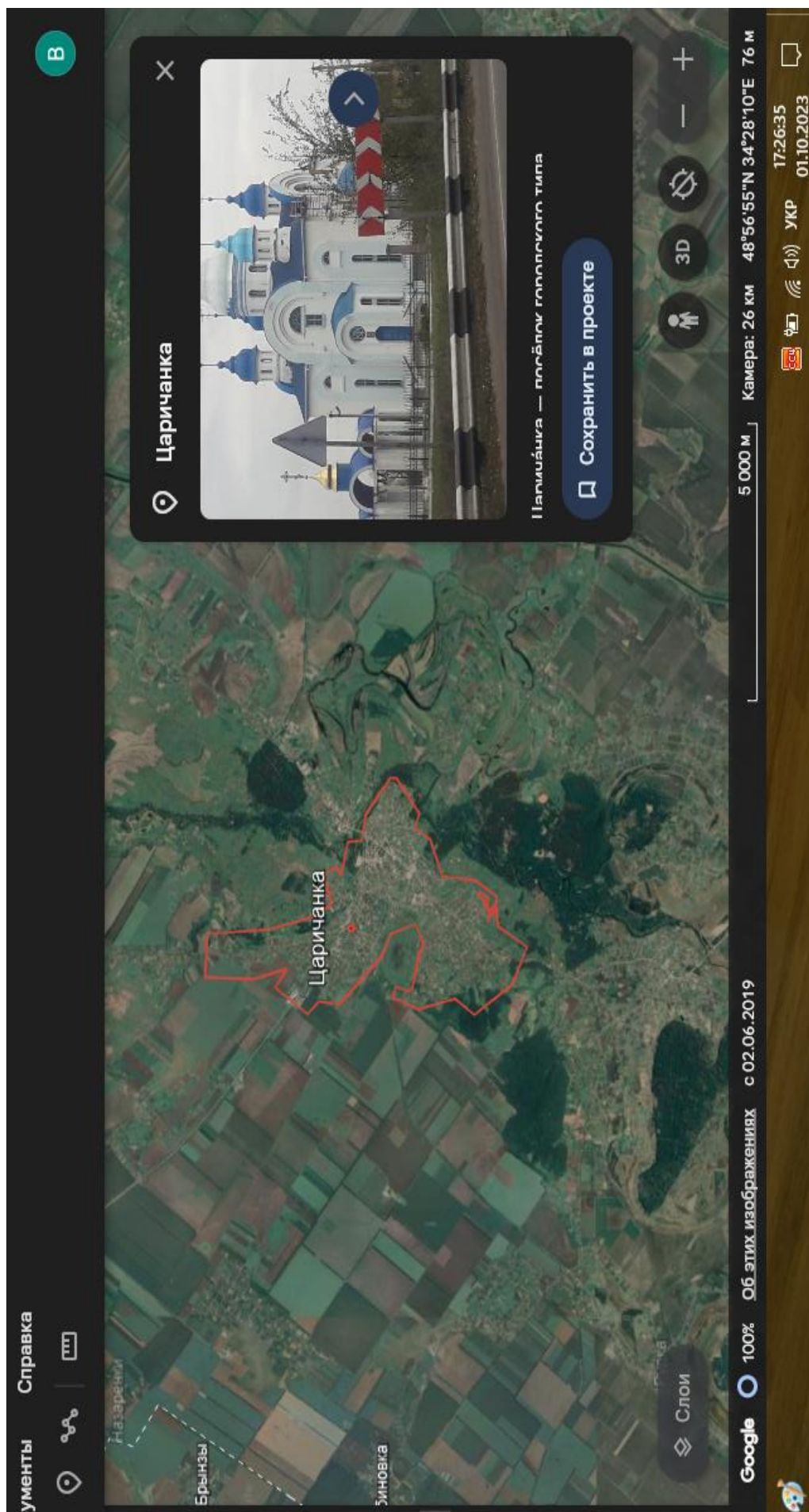


Рисунок 3.1 – Координати Царичанки (Google Earth)

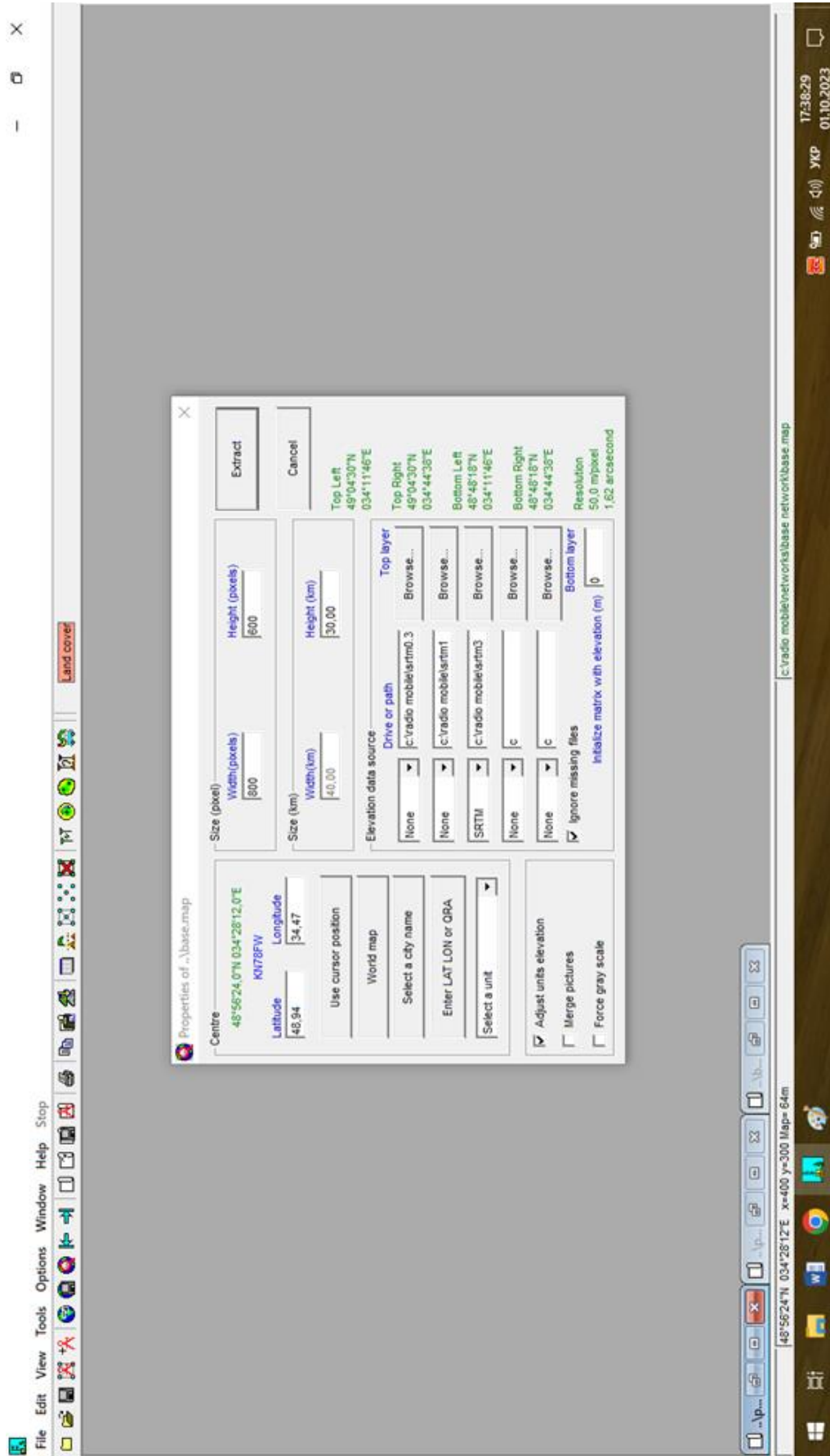


Рисунок 3.2 – Координати Царичанки в Radio Mobile

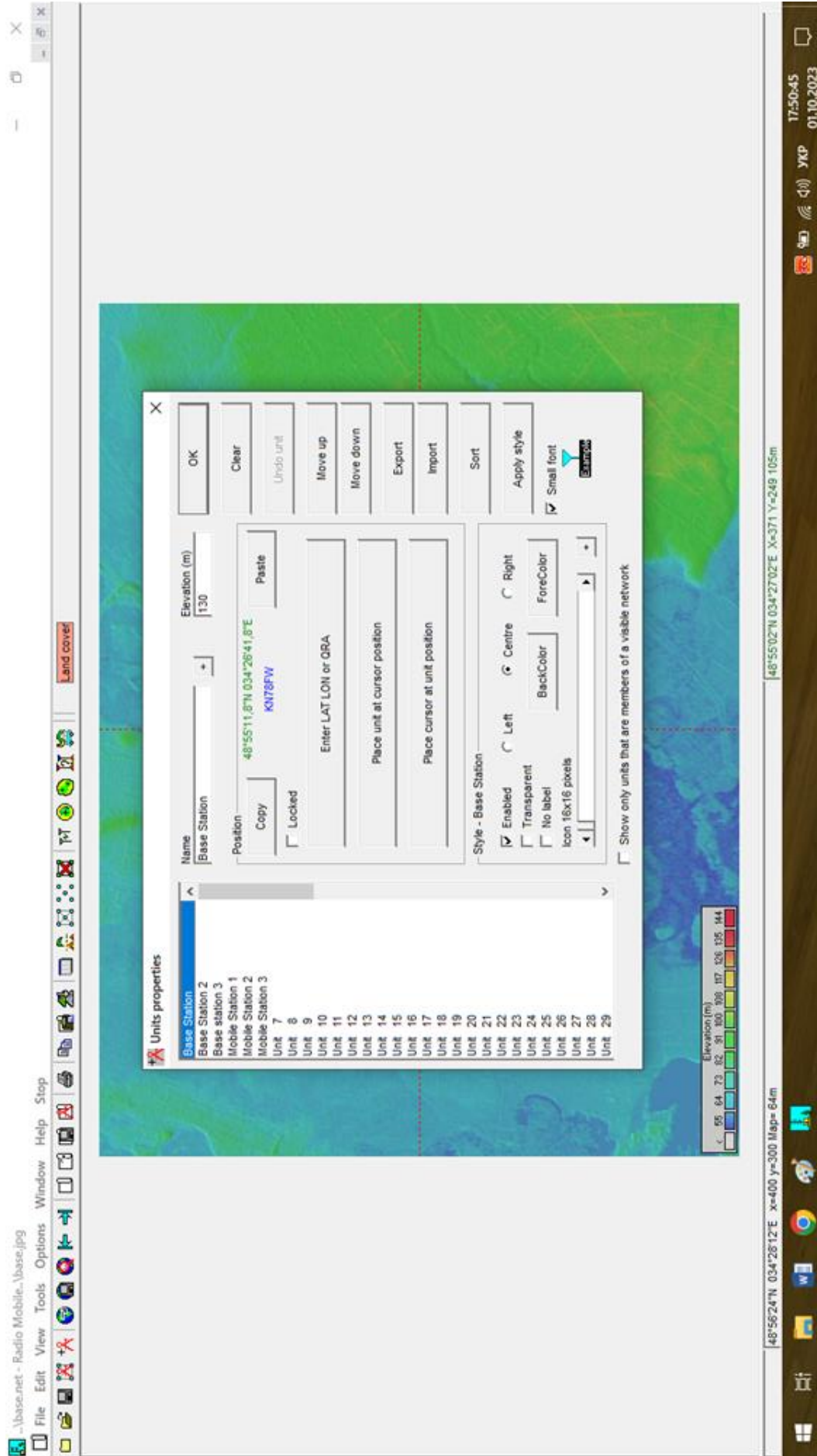


Рисунок 3.3 – Властивості вузла



Рисунок 3.4 – Властивості мережі - Systems

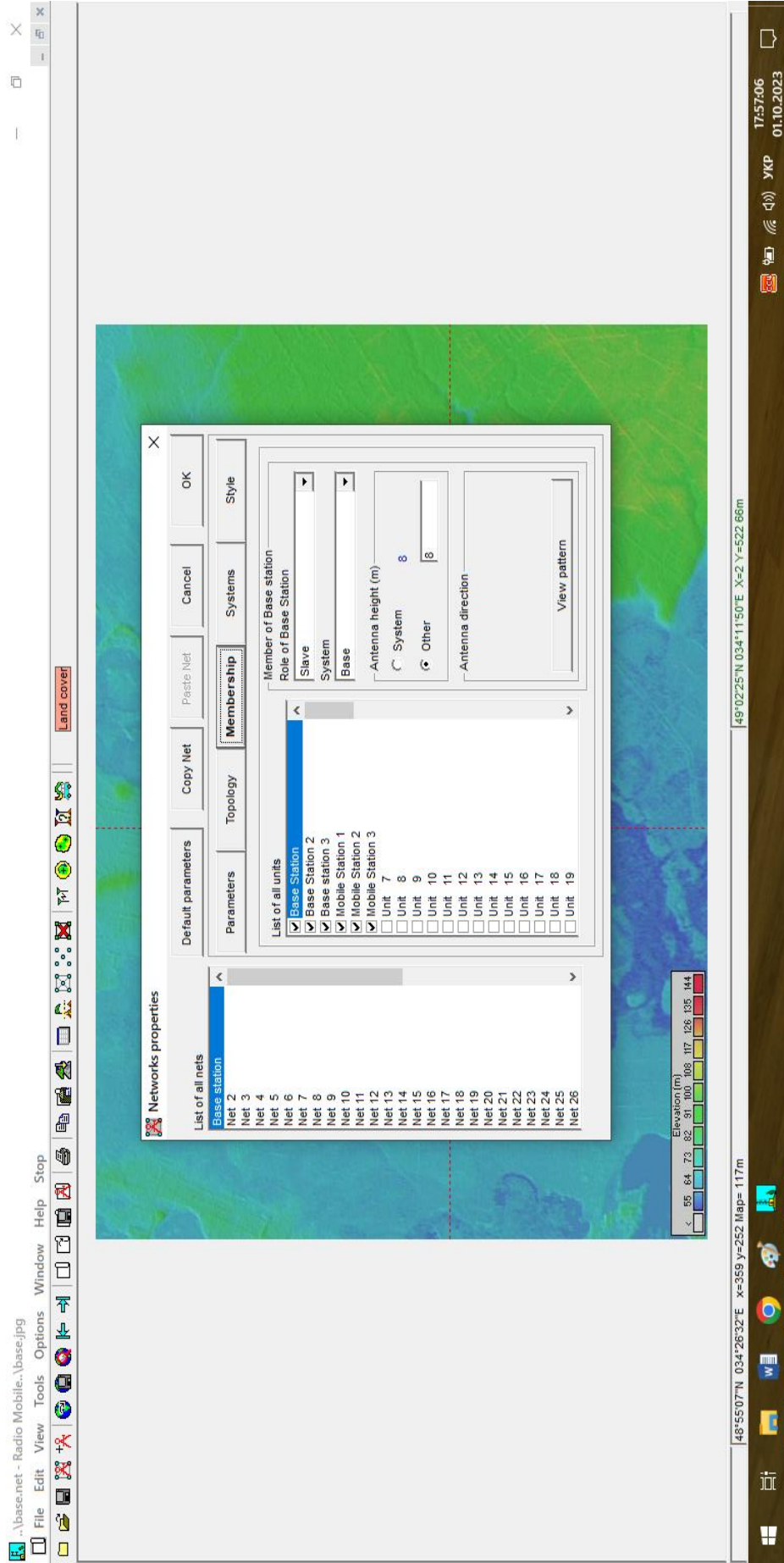


Рисунок 3.5 – Властивості мережі - Membership

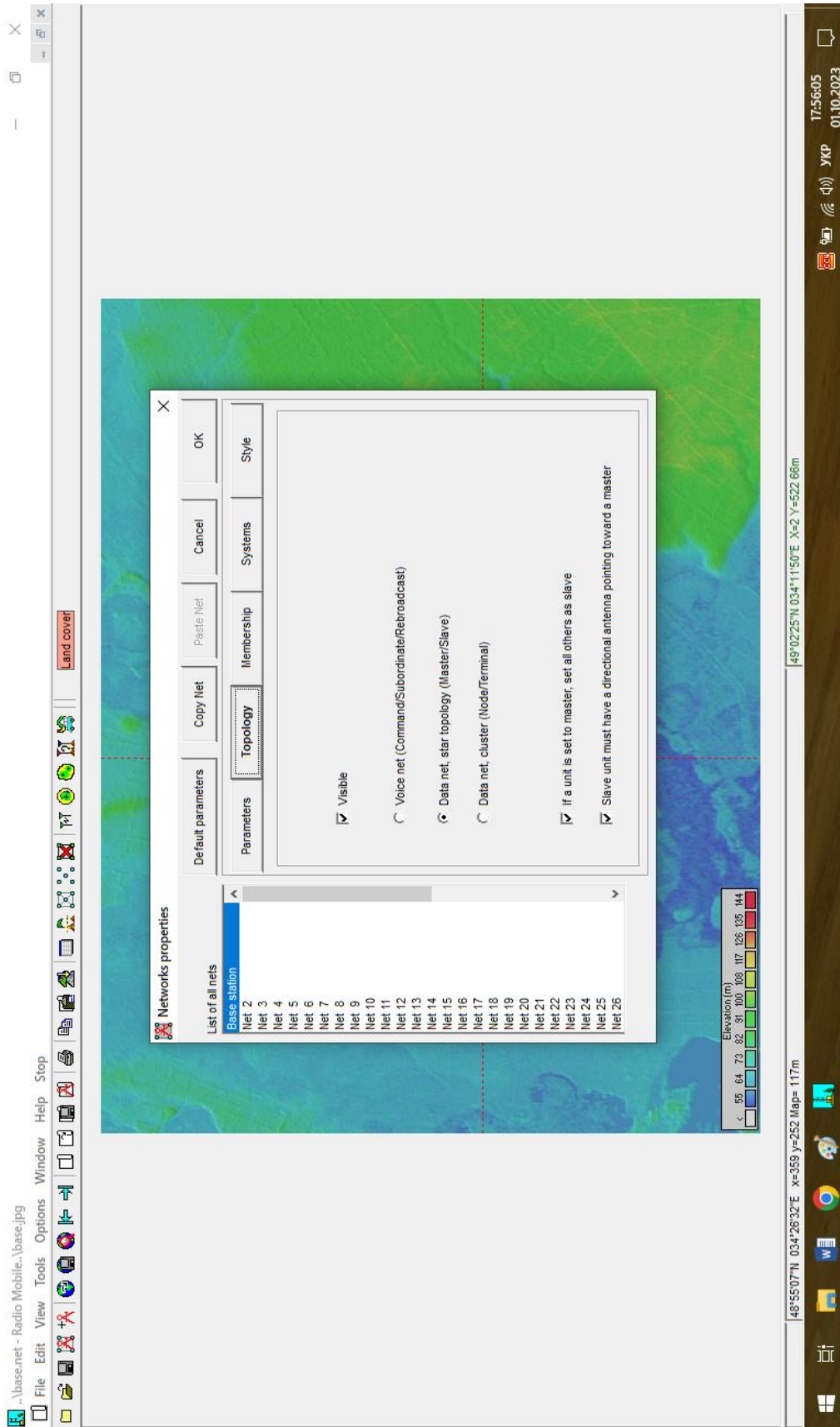


Рисунок 3.6 – Властивості мережі - Topology

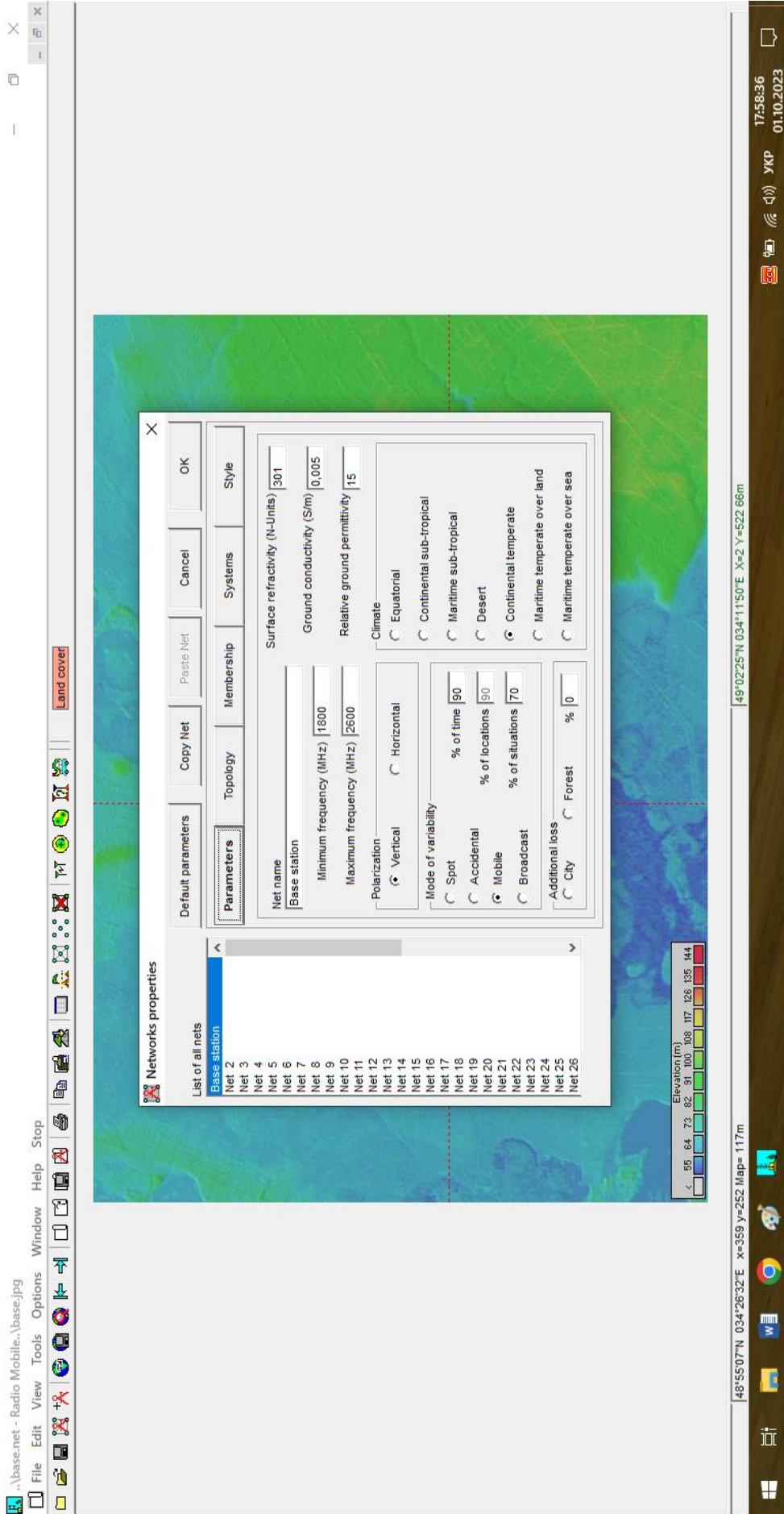


Рисунок 3.7 – Властивості мережі - Parameters (дані , базової станції)



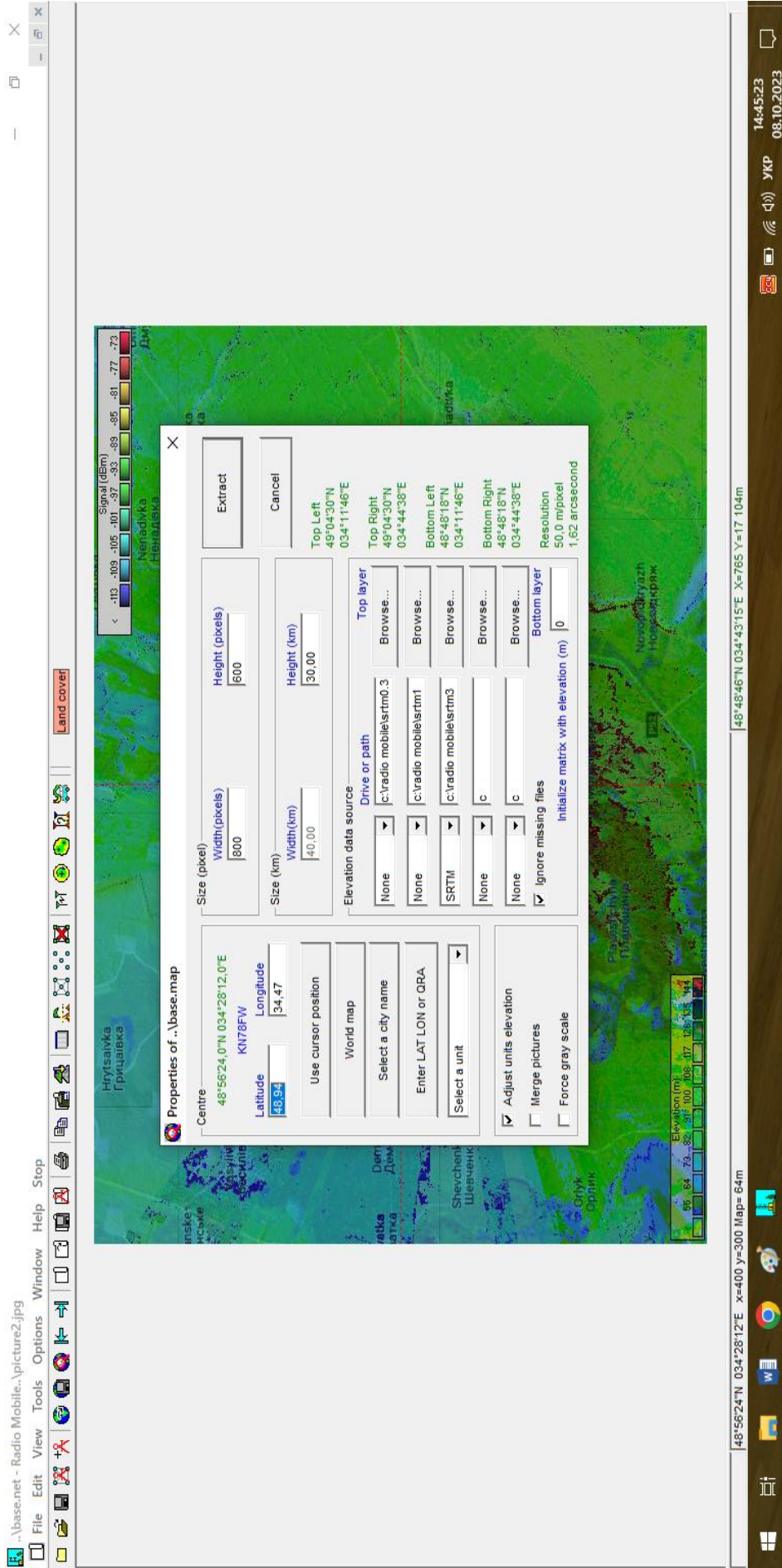


Рисунок 3.9 – Властивості карти

#### 4 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СЕГМЕНТУ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ СЕЛИЩА МІСЬКОГО ТИПУ

Для створення базової та мобільних станцій перейдемо (відкриємо) вікно «File» - «Unit Properties». Далі здійснимо процедуру введення потрібних даних.

1. Клацнемо по черзі зображення карти та комірки сітки висот, щоб локалізувати піксель, де розташовується елемент мережі.

2. У меню «Файл» виберемо «Unit properties». Це відкриє форму з усіма необхідними елементами керування для завершення позиціонування блоку.

3. Виберемо елемент зі списку.

4. Відредагуємо назву пристрою. Розмістимо елемент в позиції курсора, щоб примусово ввести координати курсору та висоту.

5. Установимо властивості видимості, основного кольору, прозорості та фонового кольору.

6. Вийдемо з форми властивостей елементів. Мітка елемента з'явиться на зображенні карти.

Здійснюємо введення (вводимо) назви станції та натискаємо «ОК» (рисунок 4.1). Визначимо стиль станції, висоту, позицію. Поставимо станцію можна на місто курсора за допомогою кнопки «Place unit at cursor position» в закладці «Unit Properties» (рисунок 4.2).

Далі за допомогою Google Map ми накладаємо поверх карти рельєфу населені пункти. Для цього потрібно зайти в «Merge pictures» та обрати «Source» «Internet Google Map», після цього натискаємо «Draw» (рисунок 4.3).

Готова карта рельєфу з населеними пунктами показана на рисунок 4.4.

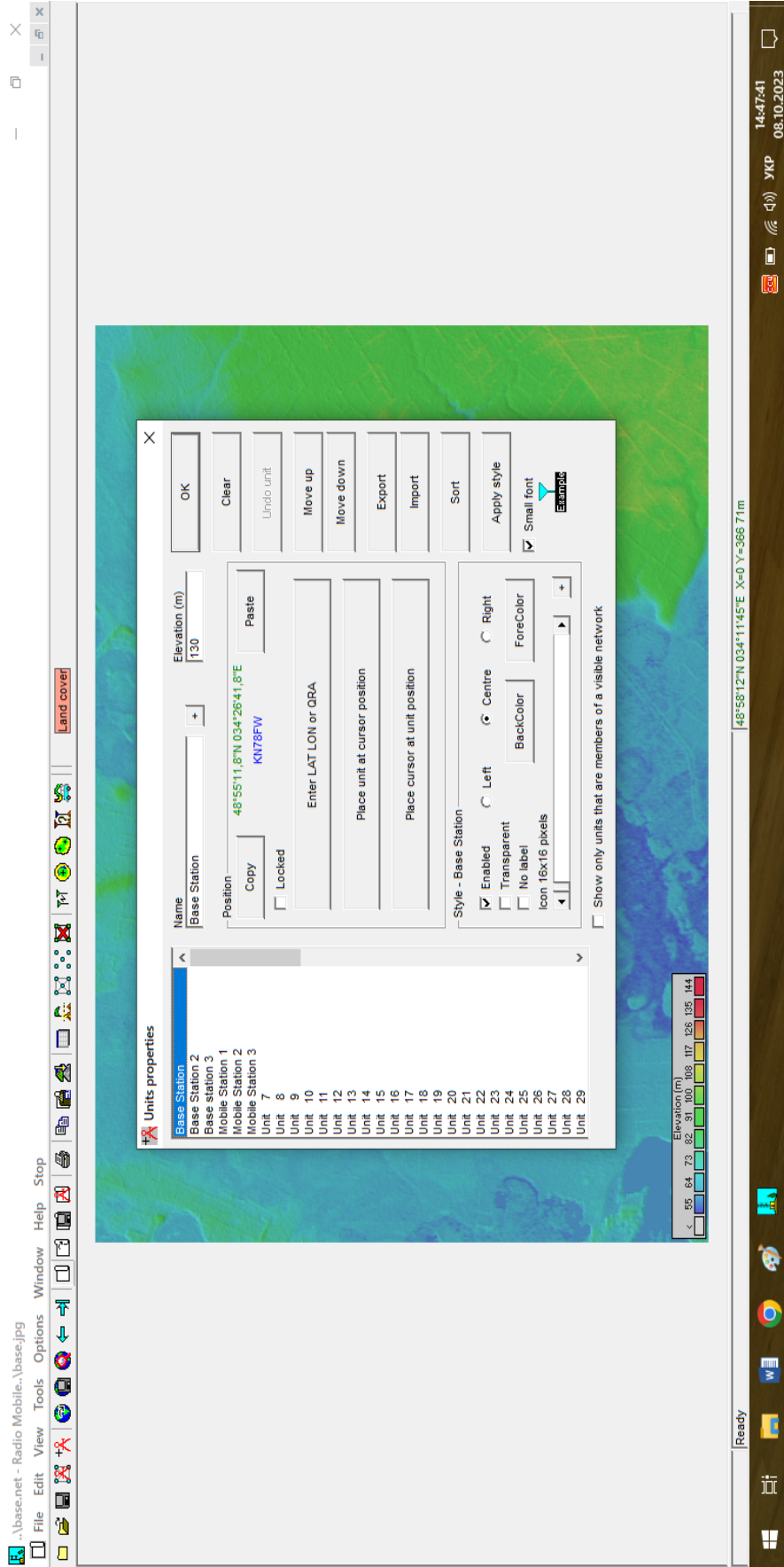


Рисунок 4.1 – Створення базових та мобільних станцій

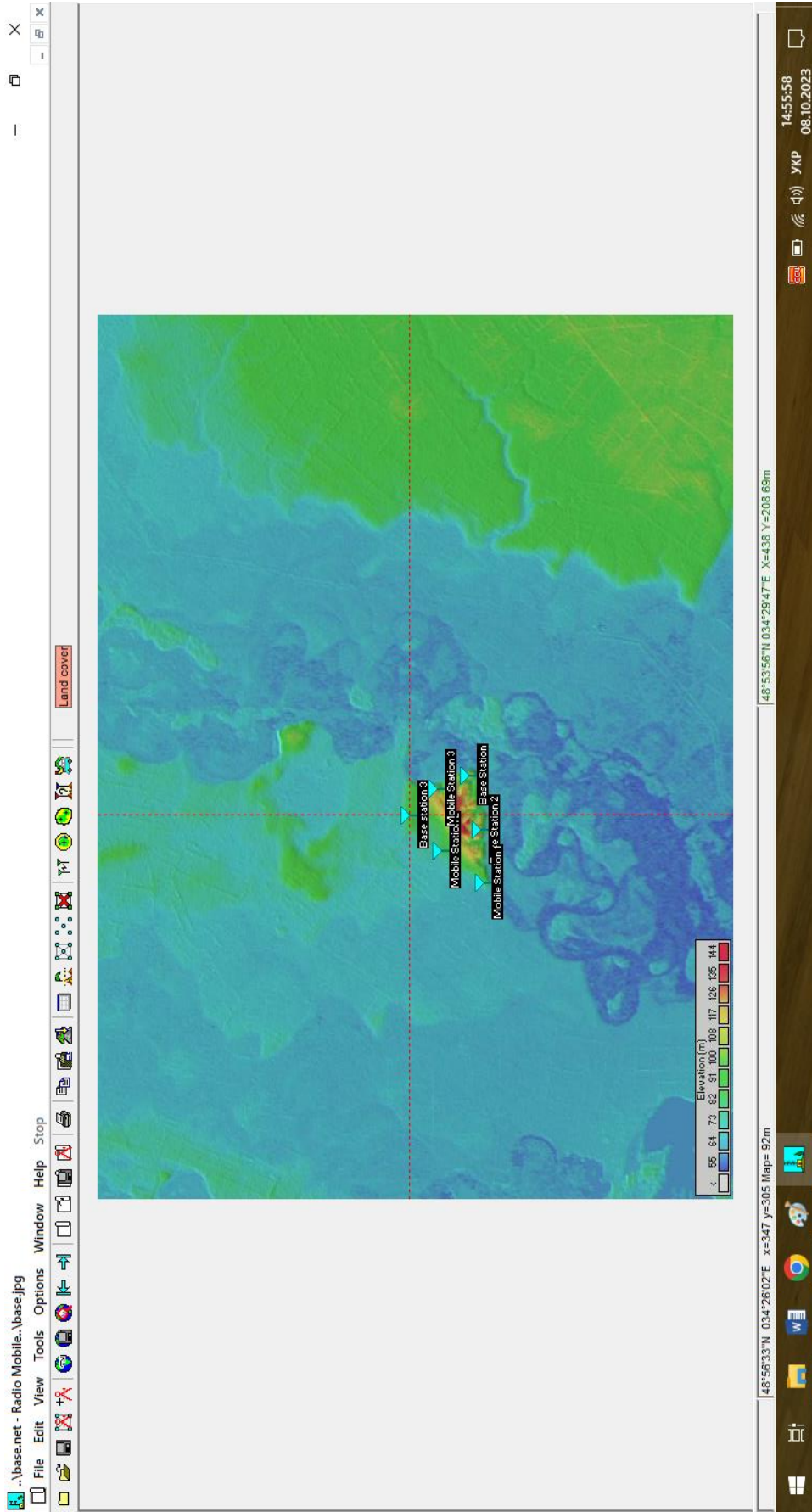


Рисунок 4.2 – Створенні станції

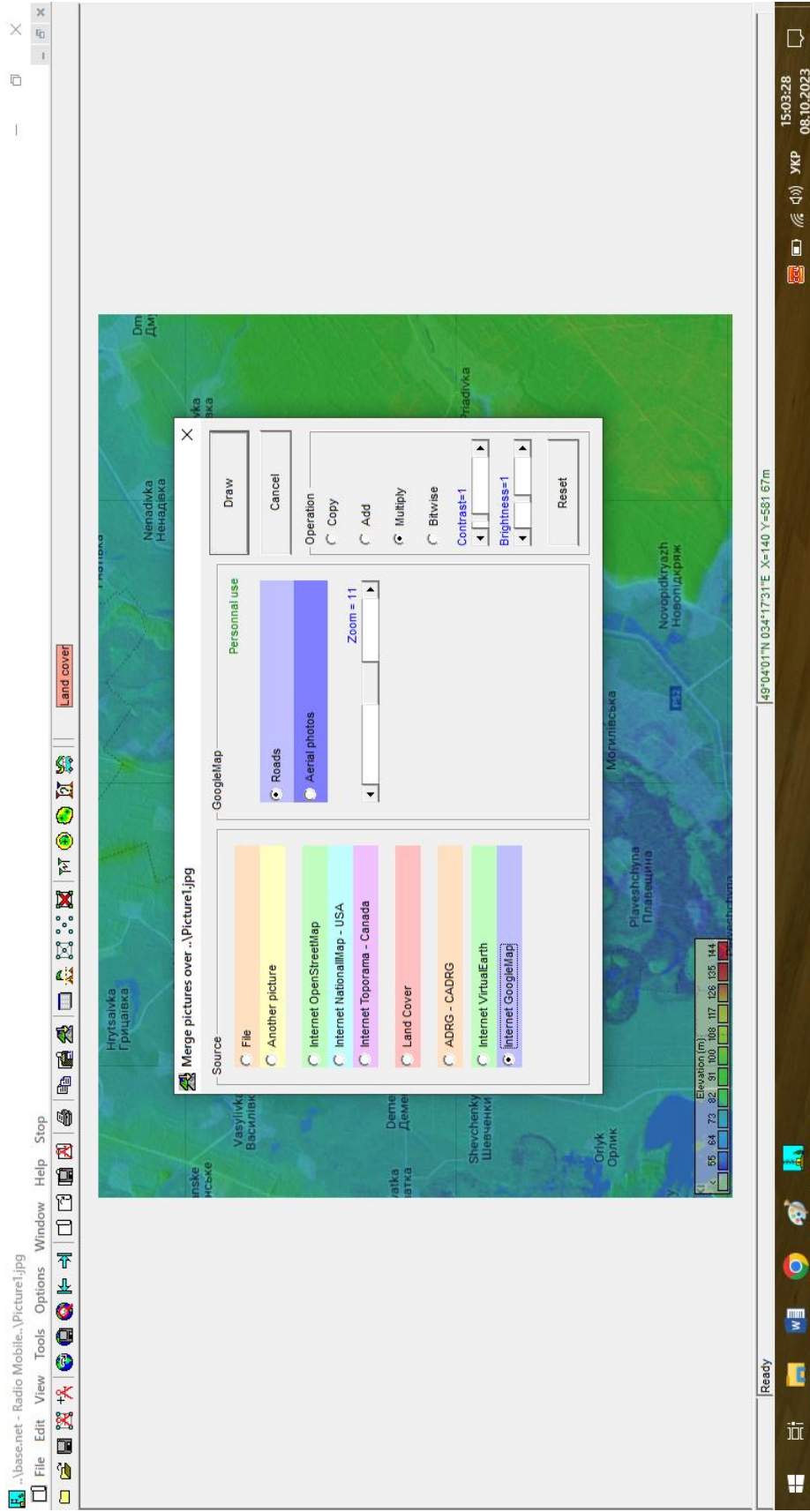


Рисунок 4.3 – Накладання на карту рельєфу, населених пунктів за допомогою Google Map



## 5 РЕЗУЛЬТАТИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СЕГМЕНТУ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ СЕЛИЩА МІСЬКОГО ТИПУ

Для перегляду результатів нашої моделі сегменту мережі мобільного зв'язку потрібно перейти у вікно «Tools» – «Radio link» (рисунок 5.1). Переходимо в меню «View» у вкладці «Radio link».

1. Використовуємо «Profile», щоб ініціювати профіль та обчислити параметри зв'язку між одиницями, вибраними в лівому та правому списках. Зміна одиниць у списку або зміна мережі ініціює той самий процес. Лівий блок передає на правий блок.

2. Використовуємо «Swap» для обміну одиницями Tx і Rx.

3. Використовуємо «Details» для звіту про параметри, наприклад відстань, азимут, параметри поширення радіохвиль та системні дані.

4. Використовуємо «Range», щоб переглянути співвідношення сигналу та відстані.

5. Використовуємо «Distribution», щоб переглянути статистичний розподіл сигналу приймача.

6. Використовуємо «Observe» та вибираємо кут огляду 5°, 10°, 20°, 40° або 80°.

Кожен із зелених індикаторів S-meters відповідає одній S-одиниці, кожен червоний індикатор відповідає додатковим 10 дБ над S9. Правий S-метр відповідає сигналу, отриманому для передачі зліва направо. Лівий S-метр відповідає сигналу, отриманому для передачі справа наліво. Значення можуть відрізнятися, якщо підсилення системи в кожному випадку різні.

Характеристики радіолінії будуть визначені за такою формулою:

$$T \text{ (дБм)} = 10 \log_{10} (\text{Transmit power, Вт}) + 30,$$

де  $L1 \text{ (дБ)} = \text{втрати лінії передавача};$

$A1$  (дБi) = посилення антени передавача відносно ізотропної антени;

$P$  (дБ) = втрати при розповсюдженні радіохвиль за моделлю Лонглі-Райса (включаючи необхідний запас завмирання) ;

$A2$  (дБi) = посилення антени приймача відносно ізотропної антени;

$L2$  (дБ) = втрати лінії приймача;

$R$  (дБм) =  $20 \log_{10}$  (чутливість приймача, мкВ).

В результаті можна отримати (в дБ):

$M$  (дБ) = Received signal (дБм) -  $R$  (дБм);

$M$  (дБ) =  $(Tx - L1 + A1 - P + A2 - L2) - R$ .

Характеристики в одиницях S-Units для частот більше 30 МГц визначені таким чином:

$S0$  ( $M \leq -1.5$  дБ);

$S1$  ( $M > -1.5$  дБ,  $M < 1.5$  дБ) ;

$S2$  ( $M \geq 1.5$  дБ,  $M \leq 4.5$  дБ) ;

$S3$  ( $M > 4.5$  дБ,  $M < 7.5$  дБ) ;

$S4$  ( $M \geq 7.5$  дБ,  $M \leq 10.5$  дБ) ;

$S5$  ( $M > 10.5$  дБ,  $M < 13.5$  дБ) ;

$S6$  ( $M \geq 13.5$  дБ,  $M \leq 16.5$  дБ) ;

$S7$  ( $M > 16.5$  дБ,  $M < 19.5$  дБ) ;

$S8$  ( $M \geq 19.5$  дБ,  $M \leq 22.5$  дБ) ;

$S9$  ( $M > 22.5$  дБ,  $M < 27$ дВ) ;

$S9 + 10$  ( $M \geq 27$  дБ,  $M < 39$  дБ) ;

$S9 + 20$  ( $M \geq 39$  дБ,  $M < 4$  дБ) ;

$S9 + 30$  ( $M \geq 49$  дБ,  $M < 59$  дБ).

Результати моделювання для напрямів зв'язку 1 – 3 показані на рисунках 5.2 – 5.7). Отримані ймовірнісні характеристики для напрямів зв'язку 1 – 3 показані на рисунках 5.8 – 5.10.

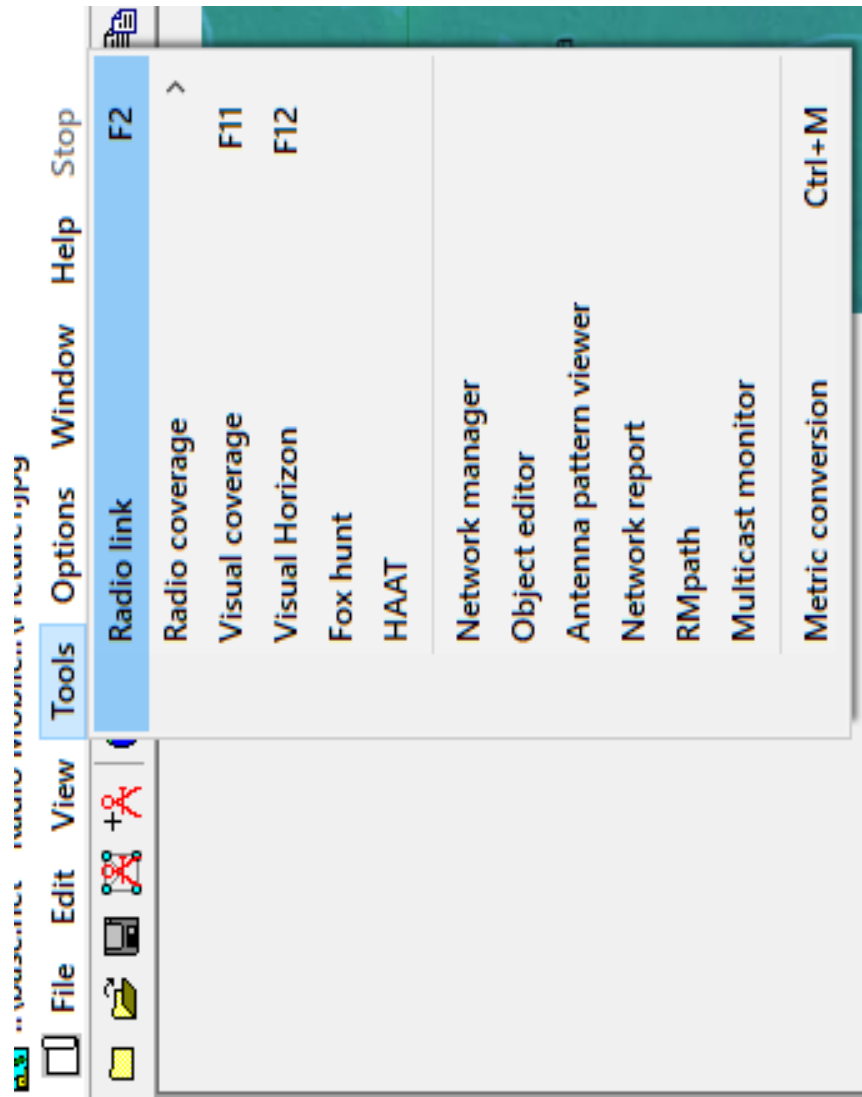


Рисунок 5.1 – Меню Radio link

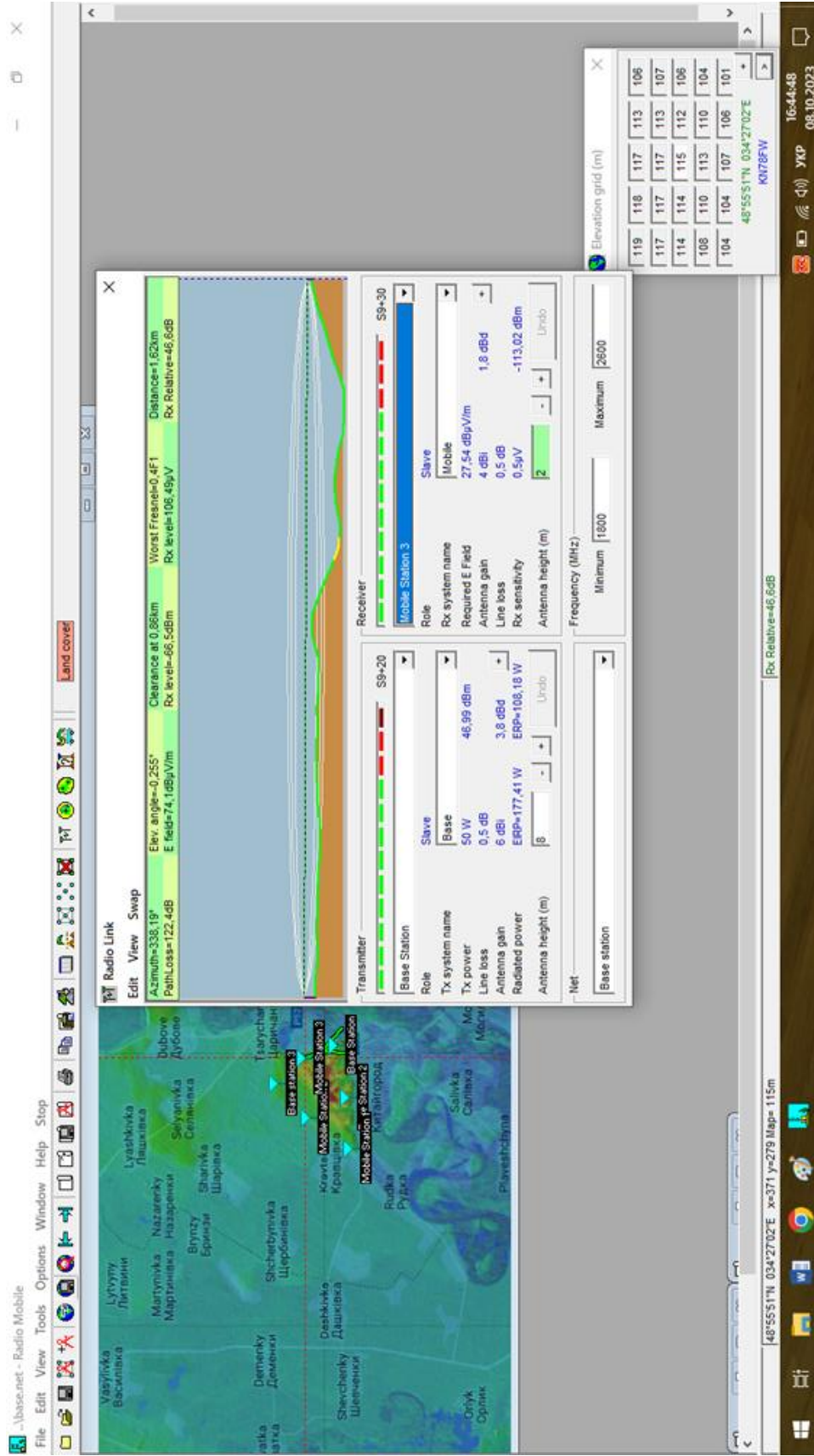


Рисунок 5.2 – Результати моделювання Radio Link (напрям 1)

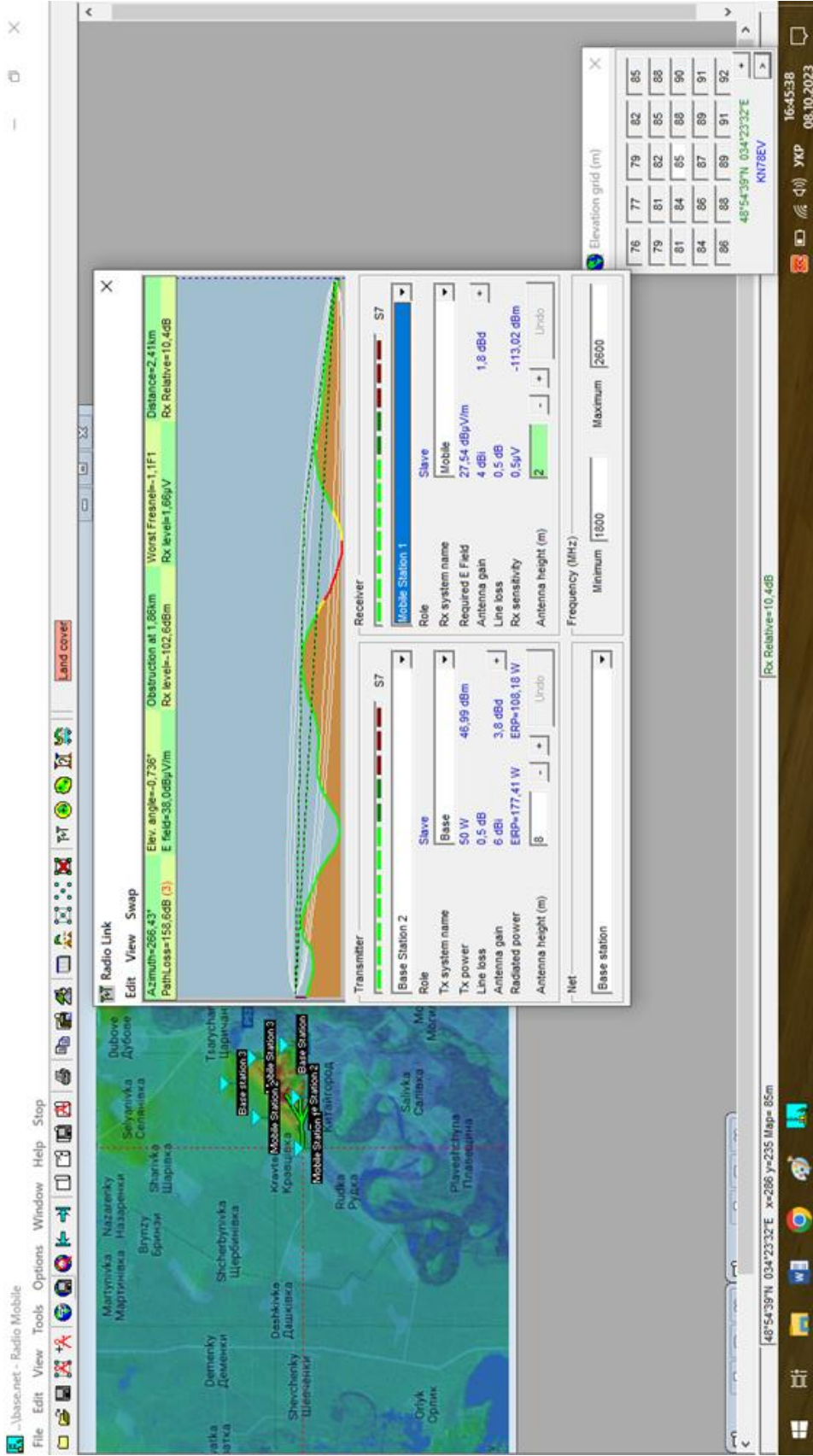


Рисунок 5.3 – Результати моделювання Radio Link (напрягм 2)

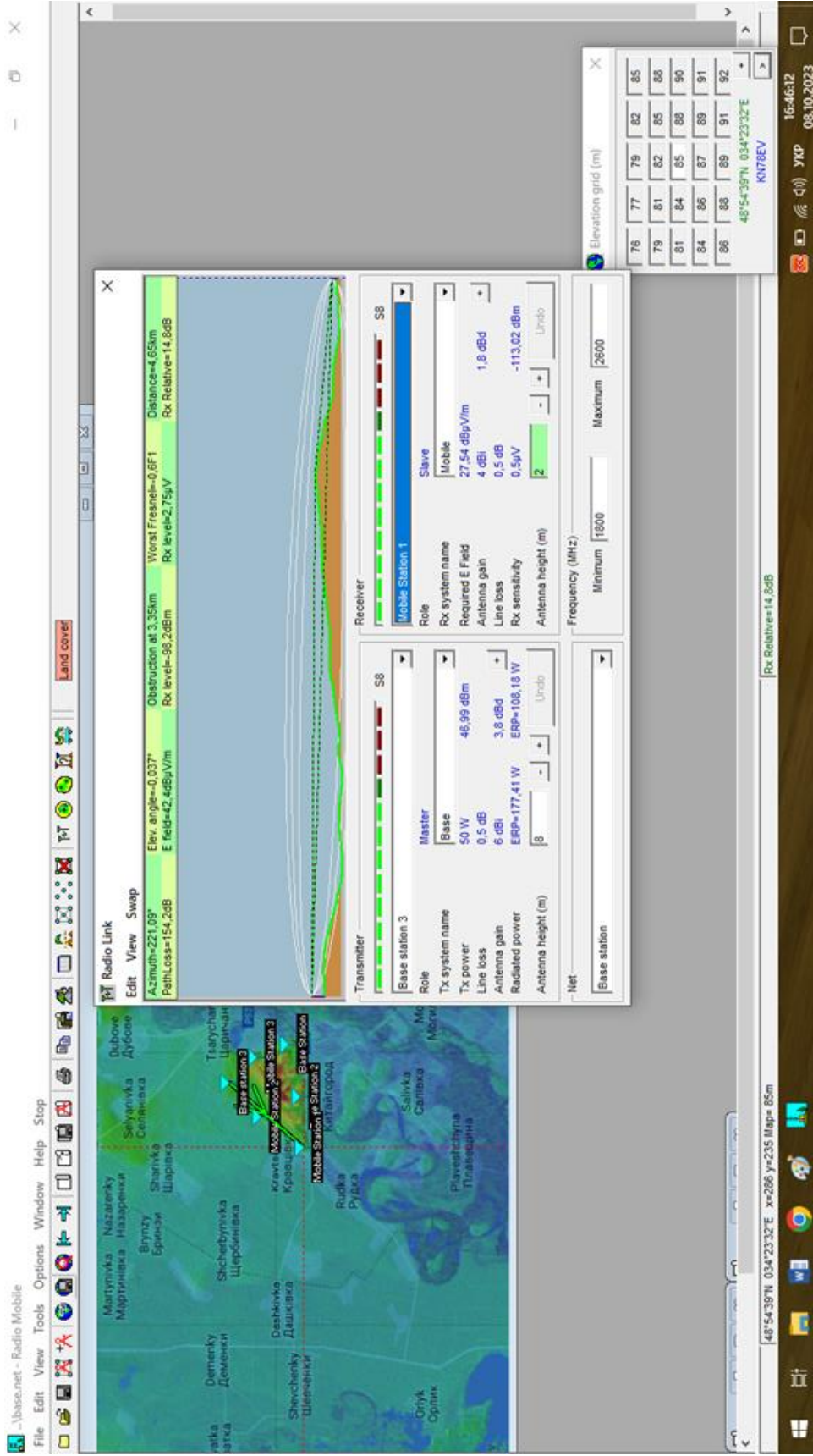


Рисунок 5.4 – Результати моделювання Radio Link (напрям 3)

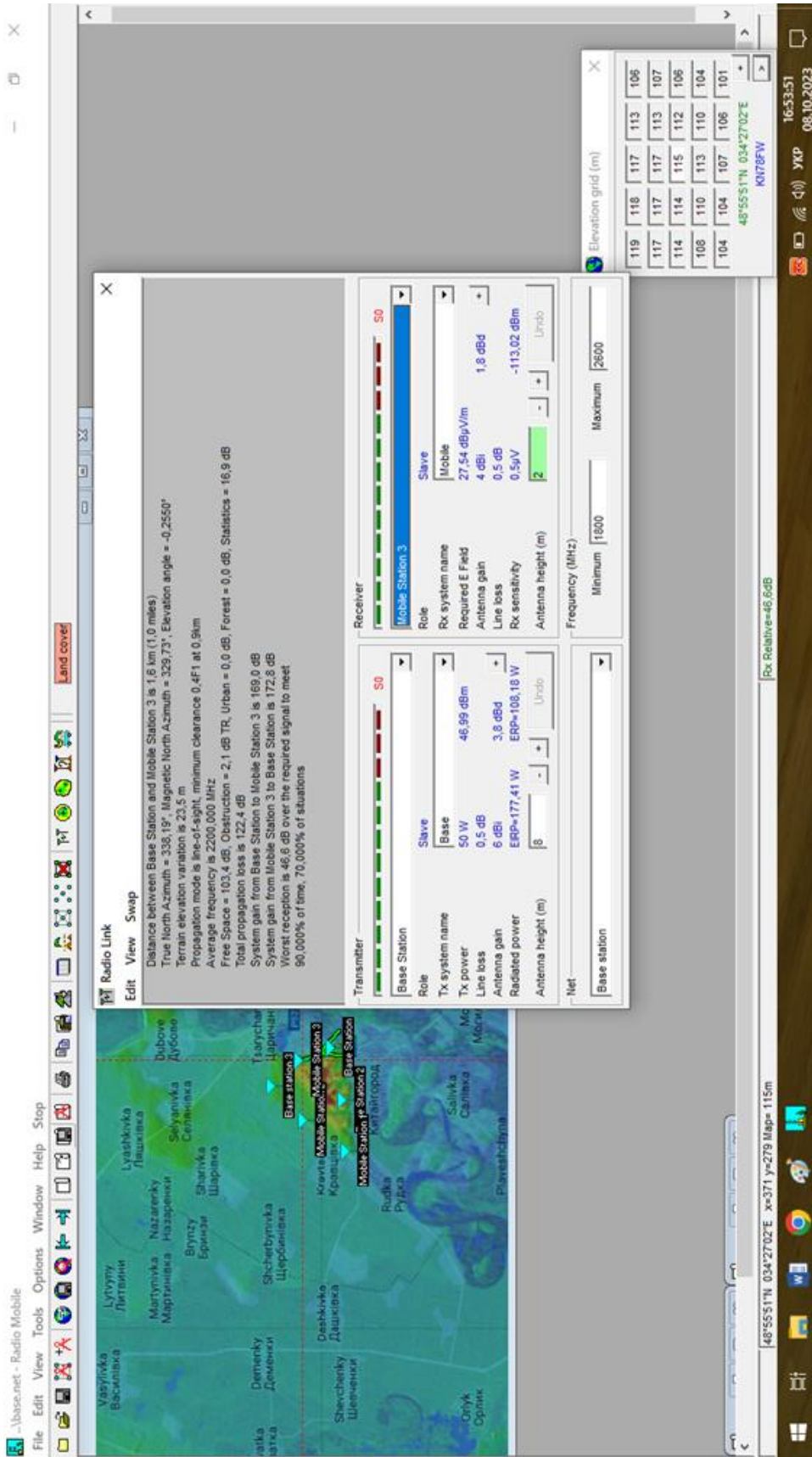


Рисунок 5.5 – Зведені результати в числовій формі Radio Link (напрямі 1)

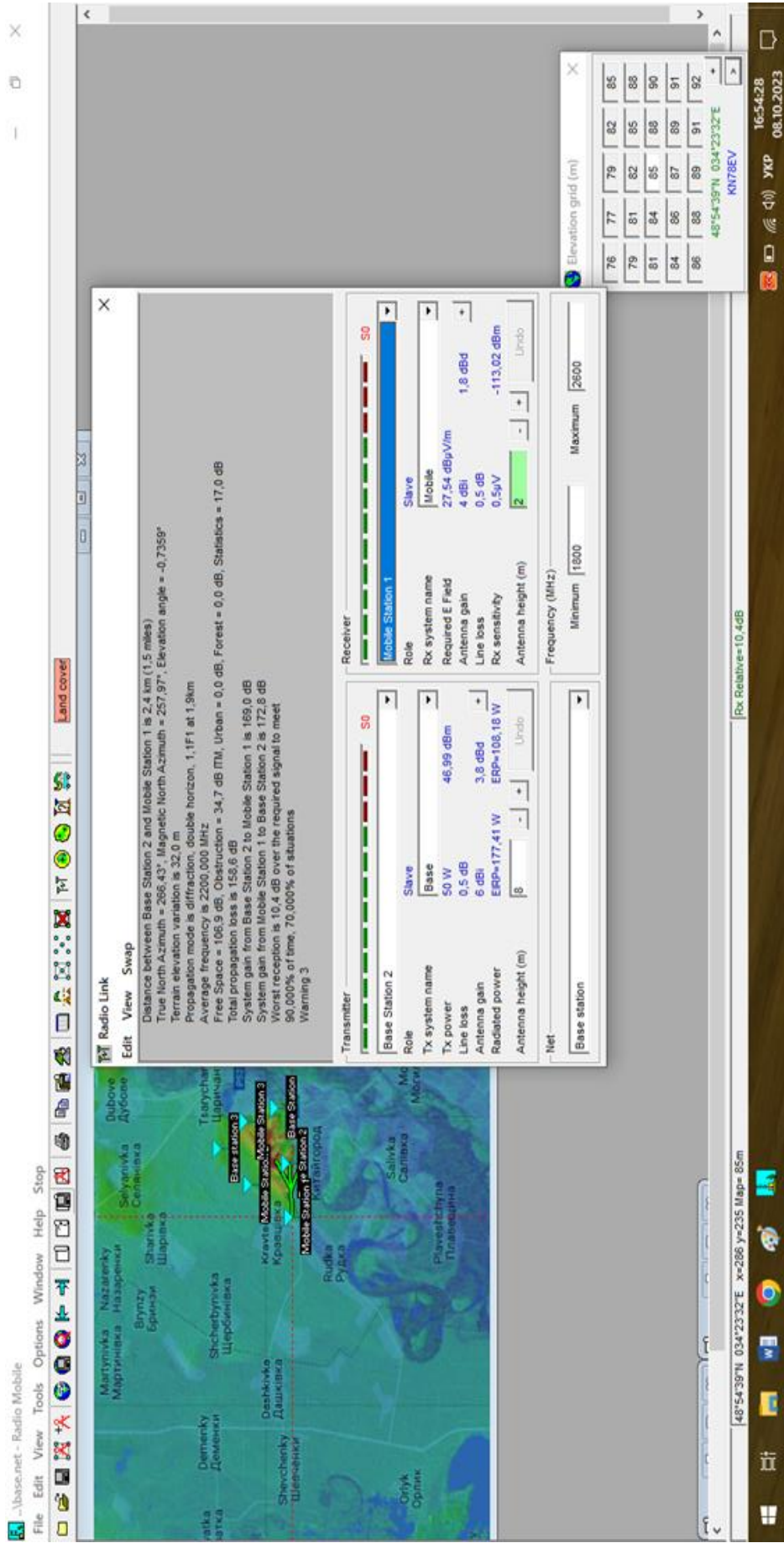


Рисунок 5.6 – Зведені результати в числовій формі Radio Link (напряом 2)

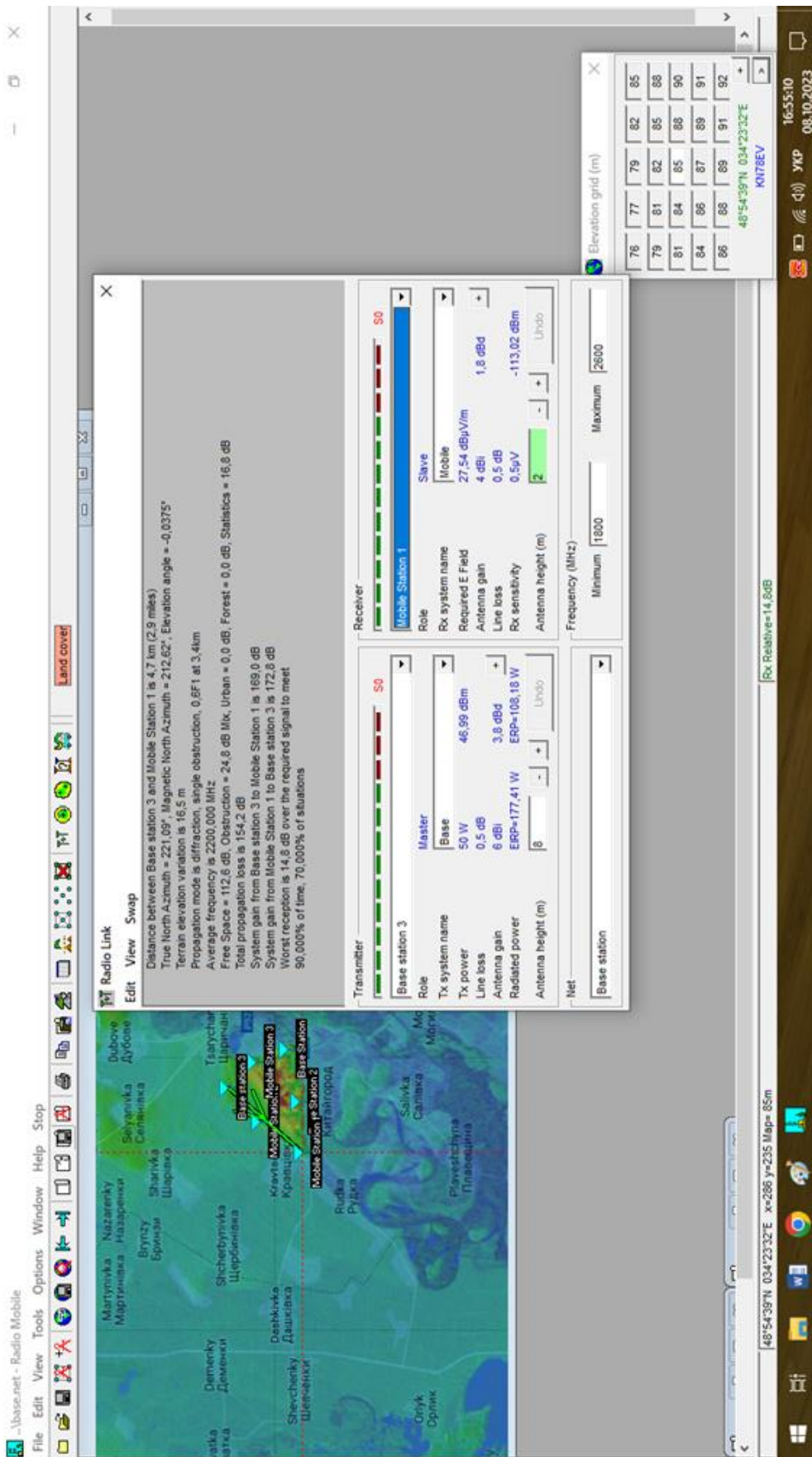


Рисунок 5.7 – Зведені результати в числовій формі Radio Link (напряв 3)

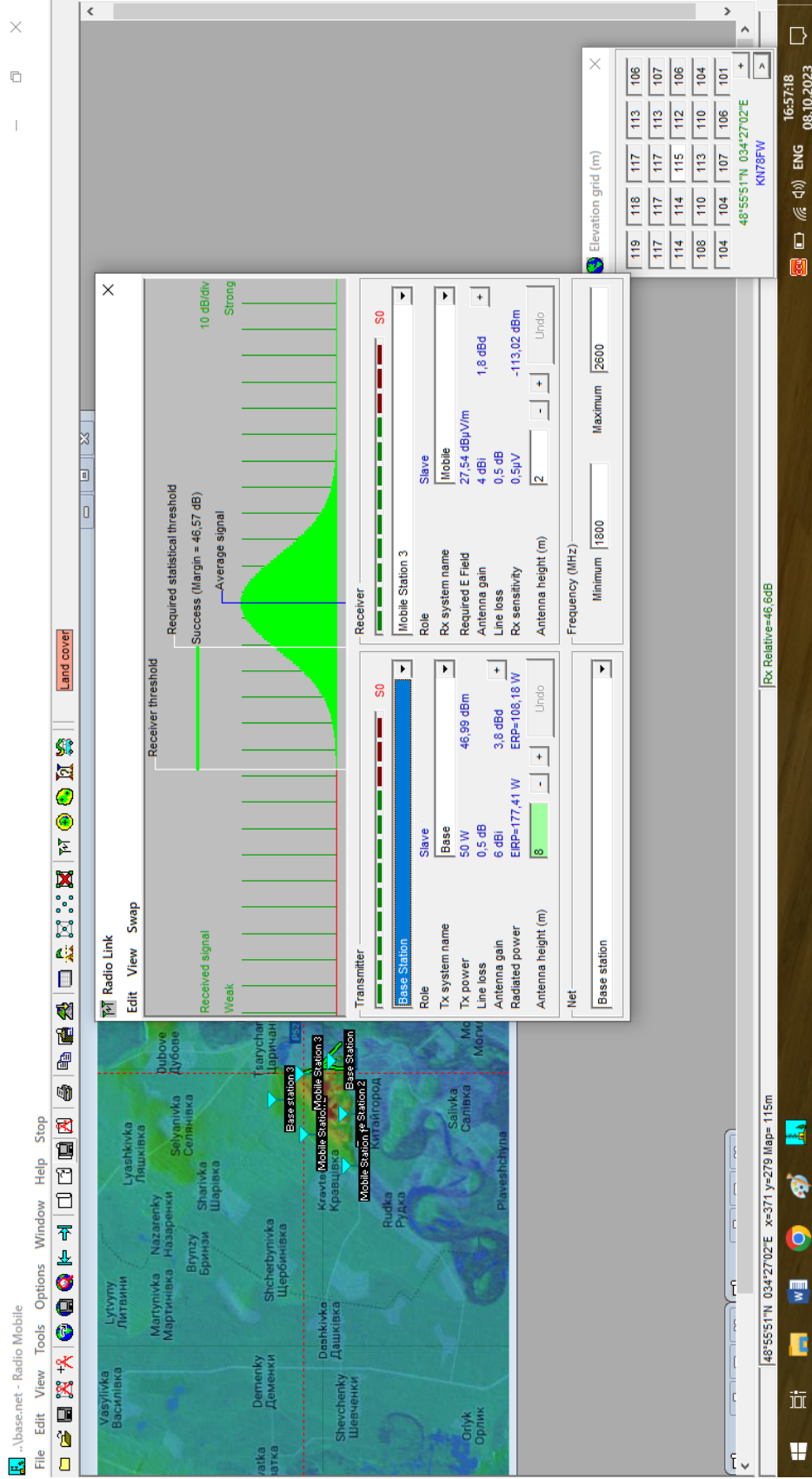


Рисунок 5.8 – Ймовірнісні характеристики Radio Link (напрягм 1)

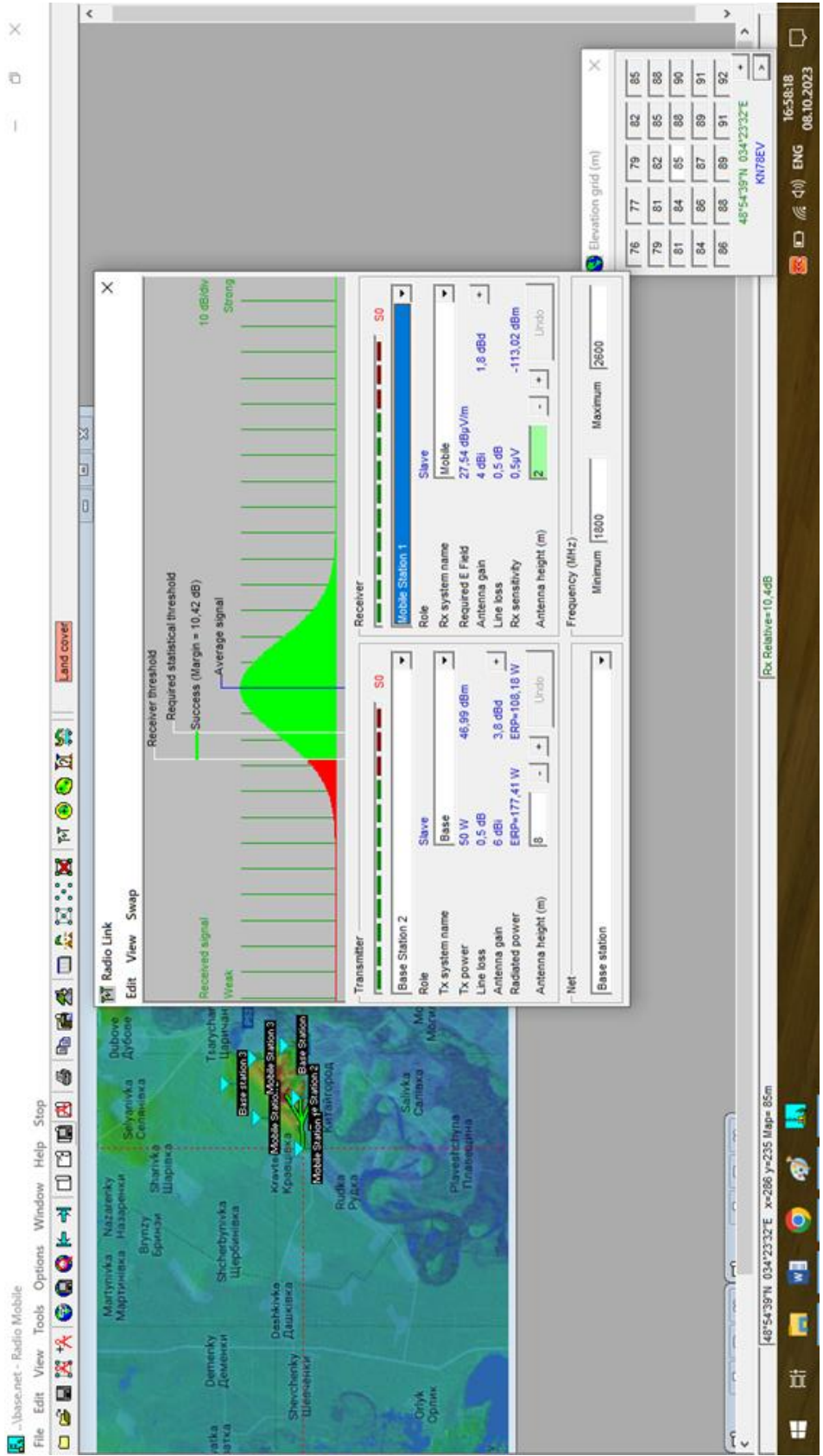


Рисунок 5.9 – Ймовірнісні характеристики Radio Link (напрягм 2)

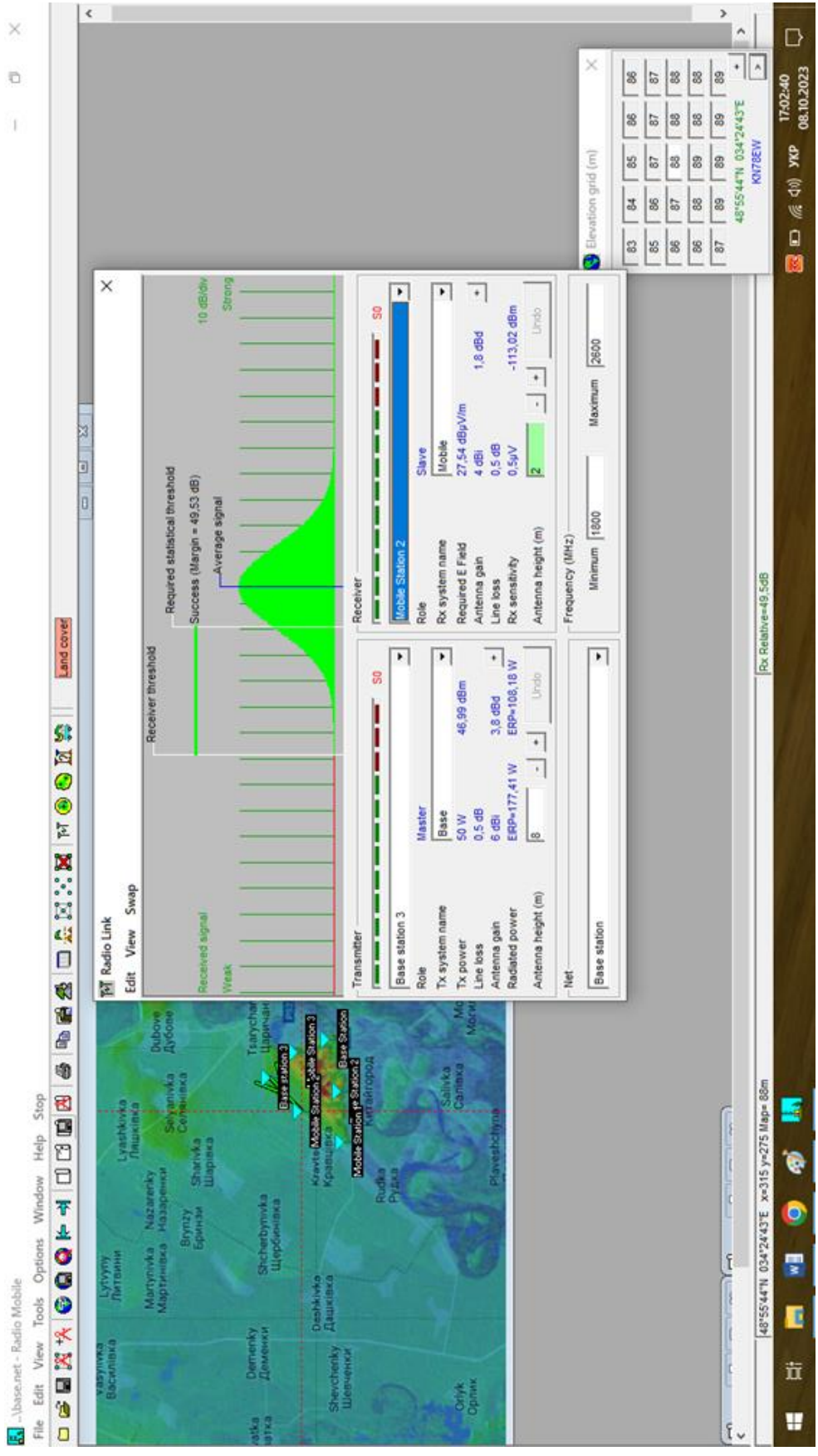


Рисунок 5.10 – Ймовірнісні характеристики Radio Link (напрягм 3)

Таким чином, для базової станції 1 та мобільної станції 3:

- відстань між базовою станцією 1 і мобільною станцією 3 становить 1,3 км;
- істинний північний азимут = 18,46; магнітний північний азимут = 9,99; кут підйому = 1,1364;
- перепади рельєфу становлять 34 м;
- режим поширення прямої видимості, мінімальна відстань  $0,2F_1$  на 0,7км.
- середня частота 2200 МГц;
- вільний простір = 101,3 дБ, перешкоди = 15,0 дБ TR, місто = 0,0 дБ, ліс = 0,0 дБ, статистика = 16,9 дБ;
- загальні втрати при розповсюдженні становлять 133,2 дБ;
- системне підсилення від базової станції 1 до мобільної станції 3 становить 169,0 дБ;
- посилення системи від мобільної станції 3 до базової станції 1 становить 172,8 дБ;
- найгірший прийом становить 35,8 дБ понад необхідний сигнал для задоволення 90% часу, 70% ситуацій.

Для базової станції 2 та мобільної станції 1 маємо такі вихідні дані:

- відстань між базовою станцією 1 і мобільною станцією 3 становить 1,4 км;
- істинний північний азимут = 77,90; магнітний північний азимут = 69,45; кут підйому = 0,2532;
- перепади рельєфу становлять 23,3 м;
- режим поширення прямої видимості, мінімальна відстань  $1,7F_1$  на 0,7км.
- середня частота 2200 МГц;

- вільний простір = 102,4 дБ, перешкоди = 39,9 дБ TR, місто = 0,0 дБ, ліс = 0,0 дБ, статистика = 17 дБ;
- загальні втрати при розповсюдженні становлять 159,2 дБ;
- системне підсилення від базової станції 2 до мобільної станції 1 становить 169,0 дБ;
- посилення системи від мобільної станції 1 до базової станції 2 становить 172,8 дБ;
- найгірший прийом становить 9,8 дБ понад необхідний сигнал для задоволення 90% часу, 70% ситуацій.

Для базової станції 3 та мобільної станції 2 маємо такі вихідні дані:

- відстань між базовою станцією 3 і мобільною станцією 2 становить 1,3 км;
- істинний північний азимут = 214,88; магнітний північний азимут = 206,40; кут підйому = 0,0518;
- перепади рельєфу становлять 12,2 м;
- режим поширення прямої видимості, мінімальна відстань  $0,6F_1$  на 0,4 км.
- середня частота 2200 МГц;
- вільний простір = 105,3 дБ, перешкоди = 0,9 дБ TR, місто = 0,0 дБ, ліс = 0,0 дБ, статистика = 16,7 дБ;
- загальні втрати при розповсюдженні становлять 122,9 дБ;
- системне підсилення від базової станції 3 до мобільної станції 2 становить 169,0 дБ;
- посилення системи від мобільної станції 2 до базової станції 3 становить 172,8 дБ;
- найгірший прийом становить 46,1 дБ понад необхідний сигнал для задоволення 90% часу, 70% ситуацій.

## ВИСНОВКИ

1. Робота є актуальною у сфері розвитку і покращення комунікаційної інфраструктури в смт. Царичанка, оскільки вона створить нові можливості для бізнесу, освіти, комунікації та розваг. Вона також сприятиме розвитку суспільства та економіки регіону, забезпечуючи швидкий та стабільний доступ до інтернету для мешканців.

2. Здійснено територіально-частотне планування мережі мобільного зв'язку селища міського типу Царичанка.

3. Виконано розробку мережі мобільного зв'язку селища міського типу Царичанка.

4. Визначено розташування базових станцій, проведена оцінка їх зони покриття з використанням засобу імітаційного моделювання мереж мобільного зв'язку Radio Mobile.

5. Для визначених напрямів зв'язку отримані такі основні результати моделювання в середовищі Radio Link:

- перепади рельєфу;
- загальні втрати при розповсюдженні становлять;
- системне підсилення від базової станції до мобільної станції;
- посилення системи від мобільної станції до базової станції;
- найгірший сигнал для задоволення 90% часу, 70% ситуацій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стільниковий зв'язок [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Стільниковий\\_зв'язок](https://uk.wikipedia.org/wiki/Стільниковий_зв'язок).
2. NMT [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Nordic\\_Mobile\\_Telephony#:~:text=NMT](https://ru.wikipedia.org/wiki/Nordic_Mobile_Telephony#:~:text=NMT).
3. GSM [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/GSM>.
4. Офіційний сайт оператора «Київстар». [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.kyivstar.net/>.
5. Офіційний сайт оператора «МТС –Україна». [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.mts.com.ua/>.
6. Офіційний сайт оператора «Лайф». [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.life.com.ua/>.
7. GPRS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/GPRS#:~:text=General>.
8. Покриття 3g в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://3g.multitest.ua>.
9. EDGE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/EDGE>.
10. UMTS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://en.wikipedia.org/wiki/UMTS>.
11. LTE [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LTE>.
12. Причини розгортання систем стільникового зв'язку в селах [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https:// www. Epravda .com. ua/rus / publications/ 2020/11/30/668626/](https://www.Epravda.com.ua/publications/2020/11/30/668626/).
13. Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Системи зв'язку з рухомими об'єктами». // Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка Кафедра комп'ютерної інженерії. – 2013.

## Додаток А

## ANALYSIS OF LTE (4G) TECHNOLOGY

In order to understand how the world came to the technology of the fourth generation (4G) of the LTE standard, it is necessary to get acquainted with the history of the development of cellular communication. The development of communication system technologies began with 1G technology. The letter "G" is an abbreviation of the word generation, which means "generation" in English. The first generation did not have a data transmission service, as it is an analog communication, the ability of this generation to make voice calls. The connection was not of high quality and had a high price (it was not popular).

Cellular communications began to evolve with the advent of (2G) technology. The 2G generation supported SMS, CSD format. This technology had the ability to transmit digital data via mobile devices.

The third generation (3G) had a higher data transfer rate and allowed additional use of video communication

The technology (4G) differs from its predecessors in the speed of data transfer almost 500 times that of the third generation technology. Speeds average up to 10 Mbps for mobile devices and up to 1 Gbps for non-mobile devices. Also, 4G works with data in digital format, that is, the channel for voice transmission is not used, and calls are made in VoIP format, the IPv4 protocol is used for data transmission, it is planned to support the IPv6 protocol in the future. The LTE standard was launched on GSM/EDGE and UMTS/HSPA technology. Theoretically, data transfer speed in LTE is up to 326.4 Mbit/s for reception, and for transmission up to 172.8 Mbit/s. The radius of LTE coverage when using the station is from 5 km to 30 km, if necessary, it can reach up to 100 km. Today, the fourth generation (4G) includes two standards - WiMAX and LTE. The WiMAX standard is an evolved Wi-Fi technology with an increased coverage area. An improved standard of GSM is the LTE standard. Cellular communication, which was built on the GSM standard, was not intended for mobile Internet. In connection with this need of the

population, operators renewed and improved the already created technologies, which grew into 3G, and today into LTE 4G. The term LTE stands for Long Term Evolution, which translates as "long-term evolution". The WiMAX standard also claimed the status and name of 4G, but remained in the background. LTE technology is the next after 3G and works on the basis of IP technology. The 4G generation is a standard that meets all modern standards. In addition to high speed, this network is simple and affordable in terms of arrangement and design, since it is easier to install one base station than to lay an infinite number of cables. 4G is an improved and modern technology, but humanity does not finish modernizing the technology there, step by step it evolves to the 5G standard.

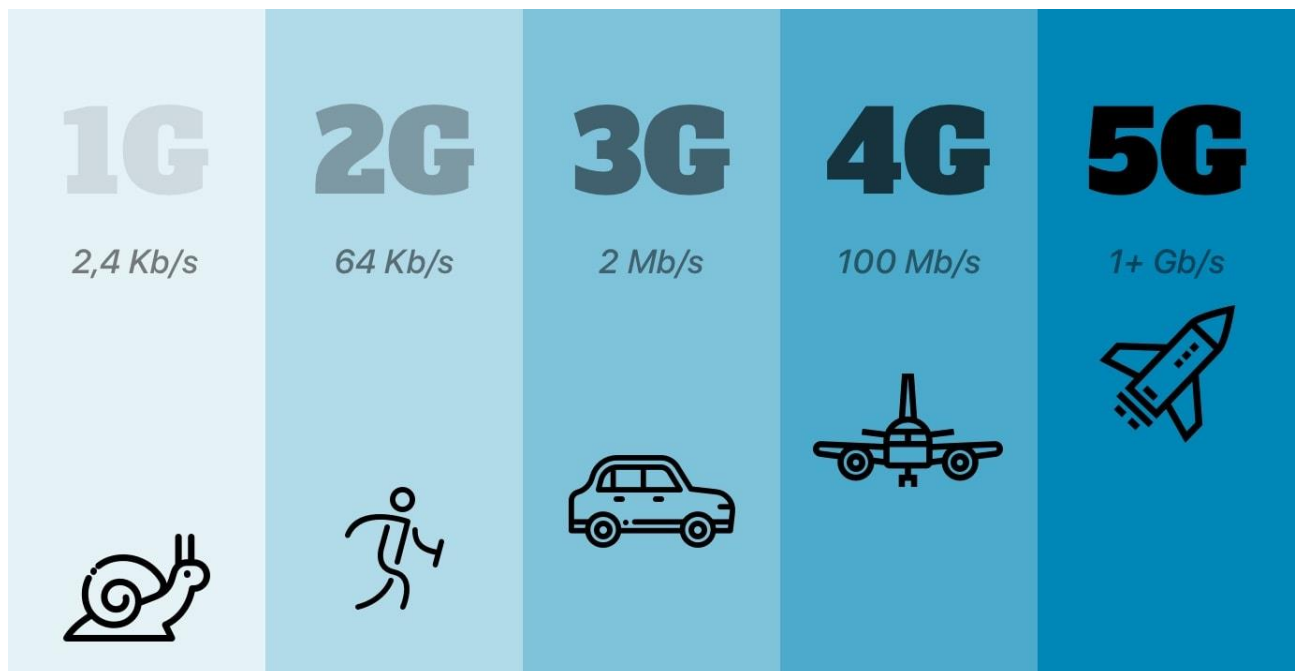


Figure A.1 - Evolution of cellular communication standards

Thus, the development of cellular communication standards is rapidly developing, improving, modernizing and not standing still, which is necessary for humanity today.

LTE 4G technology is the next generation after 3G and includes the following services:

- IP telephony;
- mobile television;

ultra-mobile and broadband Internet access;  
 games of high quality and speed.

LTE has advantages over previous mobile communication standards. Main advantages:

- high data transfer speed, which reaches up to 100 Mbit/s in the downward direction (20 MHz, 2x2 MIMO), and up to 50 Mbit/s in the upward direction (20 MHz, 1x2);
- maximum speed of 326 Mbit/s with a channel width of 20 MHz;
- maximum transfer speed of 86.4 Mbit/s with a channel width of 20 MHz;
- voice services, at least 200 active users for every 5MHz;
- bandwidth is 4 times greater than in previous standards;
- scalable channel width up to 20 MHz, with different (1.4, 2.5, 5,10, 15, and 20 MHz) steps;
- at cell boundaries, the speed increases and improves several times, the data transmission speed also improves the value of spectral efficiency at the cell boundaries;
- between the user's equipment and the BS, the response time is up to 10 ms, and the transition time from the inactive state to the active state is 100 ms;
- cell sizes can vary from several dozen meters to 100 km. In rural areas, lower frequency bands and an optimal cell size of 5 kilometers are used. For urban areas, the cell size is up to 1 kilometer. Better
- possibility of simultaneous cooperation with old standards, possibility of simultaneous existence with old standards.;
- packet switching radio interface;
- LTE technology is optimized for the use of IP technologies as well supports packet data transfer;
- mobile support improved and improved;
- delays when establishing a connection have decreased;
- high interactivity;
- supported games - online.

The architecture of the LTE network differs from that of previous generations. The new network structure should meet the high network requirements for signal transmission delay, while the cost of LTE network construction and maintenance should be reduced.

First of all, the task of developing LTE was to simplify the network structure and exclude from the system the same functions of network protocols, which are characteristic of the 3G UMTS system. According to the 3GPP LTE Release 8 specification, the LTE network consists of two important components, the E-UTRAN radio access network and the SAE (System Architecture Evolution) core network. In the architecture of the LTE standard, the network interaction takes place between the management units (MME) and the base station (eNB). The control unit (MME) includes a network gateway GW (Gateway). The LTE network at the physical level consists of two components: the E-UTRAN radio access network and the SAE (System Architecture Evolution) base network. The E-UTRAN radio access network consists only of eNB (evolved Node B) base stations. Base stations are interconnected and are network elements. At the L2 level, each eNB uses two types of interface - this is S1, created for control (Control Plane), and the second X1, used by the user (User Plane). There is also a third type X2, it provides control of eNBs base stations of the E-UTRAN radio access network. Each base station has an S1 interface with the SAE base network, this network is built on the principle of packet switching. Also, the basic SAE network is called EPC (Evolved Packet Core), it has MME/UPC nodes. In the structure of LTE, the subsystems of base stations (BS) and the switching subsystem were largely changed, the technologies for exchanging user terminals and base stations (BS), as well as protocols for transmitting information between network elements, were replaced. Absolutely all information is transmitted in the form of packets.

In the network of LTE standards, several nodes can be distinguished in the switching system:

- Serving Gateway (SGW) is a serving gateway;
- Public Data Network Gateway (PGW) is a connection gateway to the networks of other operators;
- Mobility Management Entity (MME) – mobility management node;

- Home Subscriber Server (HSS), this is a subscriber data server;
- Policy and Charging Rules Function (PCRF) - invoicing node.

Each gateway performs its functions, the Serving Gateway (SGW) performs the function of processing and routing packet data from the base station system. The service gateway establishes a connection to the 2G and 3G networks of the same operator. The Public Data Network Gateway (PGW) connection gateway with the networks of other operators is intended for routing information from the network of this operator. The gateway provides UE communication with external packet networks and is responsible for service traffic. The Mobility Management Entity (MME) node is assigned to manage the mobility of LTE network clients. This node organizes LTE and UTRAN (UMTS), GERAN (GSM) roaming, thus ensuring mobility among networks. The Home Subscriber Server (HSS) combines all registers in one device. The Policy and Charging Rules Function (PCRF) billing node generates customer bills for communications services.

eNode B nodes carry out radio exchange with UE users (User Equipment), using OFDMA and SC-FDMA encryption systems.

The EPC (Evolved Packet Core) basic network consists of MME/UPC nodes. Mobility Management Entity (MME) is an element responsible for solving mobility management problems. The MME interacts with base stations and performs the functions of transmitting messages and calls to the eNB, is also responsible for network security, and manages roaming. The second User Plane Entity element is responsible for user data transfer, the UPC element is responsible for encrypting data flows. The architecture of the SAE network is built on the principle of everything through IP, in which voice data is exchanged, as well as all services that work on packet data switching technology.

LTE technology operates in the frequency range from 1800 MHz to 2600 MHz, with a channel width of 20 MHz, works on the principle of channel division and is divided into two channels, the width of which is 10 MHz each. Thus, 10 MHz is allocated for the uplink (UL) and for the downlink (DL). The optimal and best solution in combination of price and quality will be the choice of Huawei equipment. DBS3900 LTE offers a base station consisting of two units. The first base frequency processing unit (BBU) and the second remote radio frequency unit (RRU).

## Додаток В

Тези доповідей 83 Студентська науково-технічна конференція Українського державного університету залізничного транспорту (Харків, 2023). – Харків: УкрДУЗТ, 2023р.

В. Козина (601-дГТ), НУ «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка»  
Керівник – доц. О.С. Жученко

### РОЗРОБКА МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ СЕЛИЩА МІСЬКОГО ТИПУ

В наш час з кожним днем стрімко збільшується кількість інформації, яку ми завантажуюмо через мобільний телефон. У зв'язку з цим, зростає необхідність в швидкій обробці та передачі даних. Мобільний зв'язок витісняє стаціонарні послуги, саме тому приділяється значна увага розвитку та вдосконаленню як самих мобільних телефонів, так і самих технологій, що вони використовують. Все б це було неможливо без базових станцій. Кожен оператор розміщує такі станції у великих містах, селищах та селах. І саме ці базові станції служать провідником від нашого смартфона до глобальної мережі Інтернет. Кожна базова станція має свій діапазон частот та радіус поширення зв'язку.

У роботі проводиться моделювання стільникового зв'язку в селищі міського типу за технологією 4G з можливістю переходу до технології 5G з використанням програми Radio Mobile.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

КАФЕДРА АВТОМАТИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

# НА ТЕМУ: «РОЗРОБКА МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ СЕЛІЩА МІСЬКОГО ТИПУ»

ВИКОНАВ: студент 601-дГГ н. групи Козина В.С.  
КЕРІВНИК: к.т.н., доцент Жученко О.С.

**ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ** – технологія 4G.

**ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ** – моделювання стільникового зв'язку з використанням програми Radio Mobile.

**МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ** – моделювання стільникового зв'язку технологія 4G.

### **ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ**

- Обґрунтування необхідності розгортання системи стільникового зв'язку.
- Вибір обладнання систем стільникового зв'язку.
- Моделювання стільникового зв'язку з використанням програми Radio Mobile.



Рис. 1 – Розвиток стандартів стільникового зв'язку

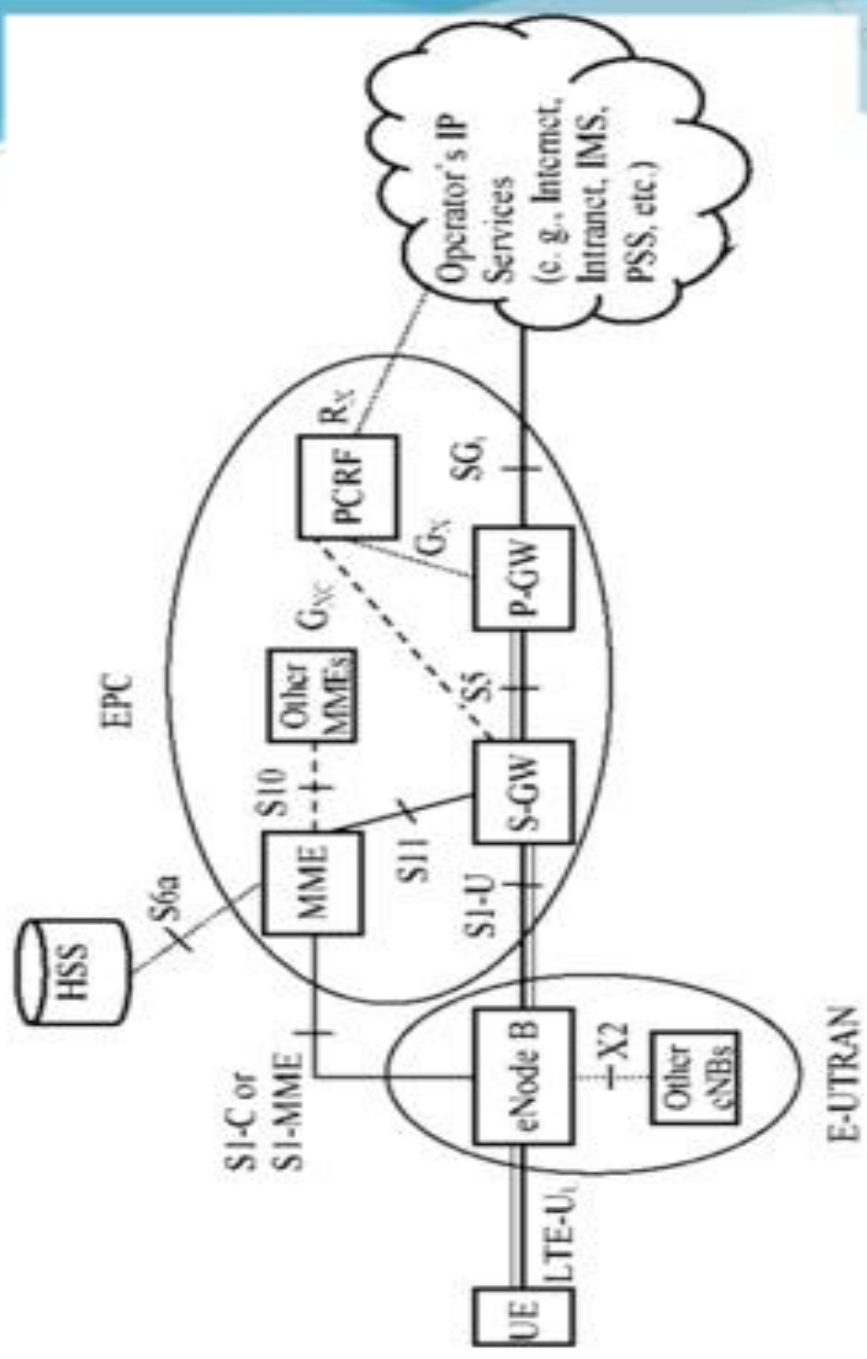


Рис. 2 - Схема роботи мережі LTE



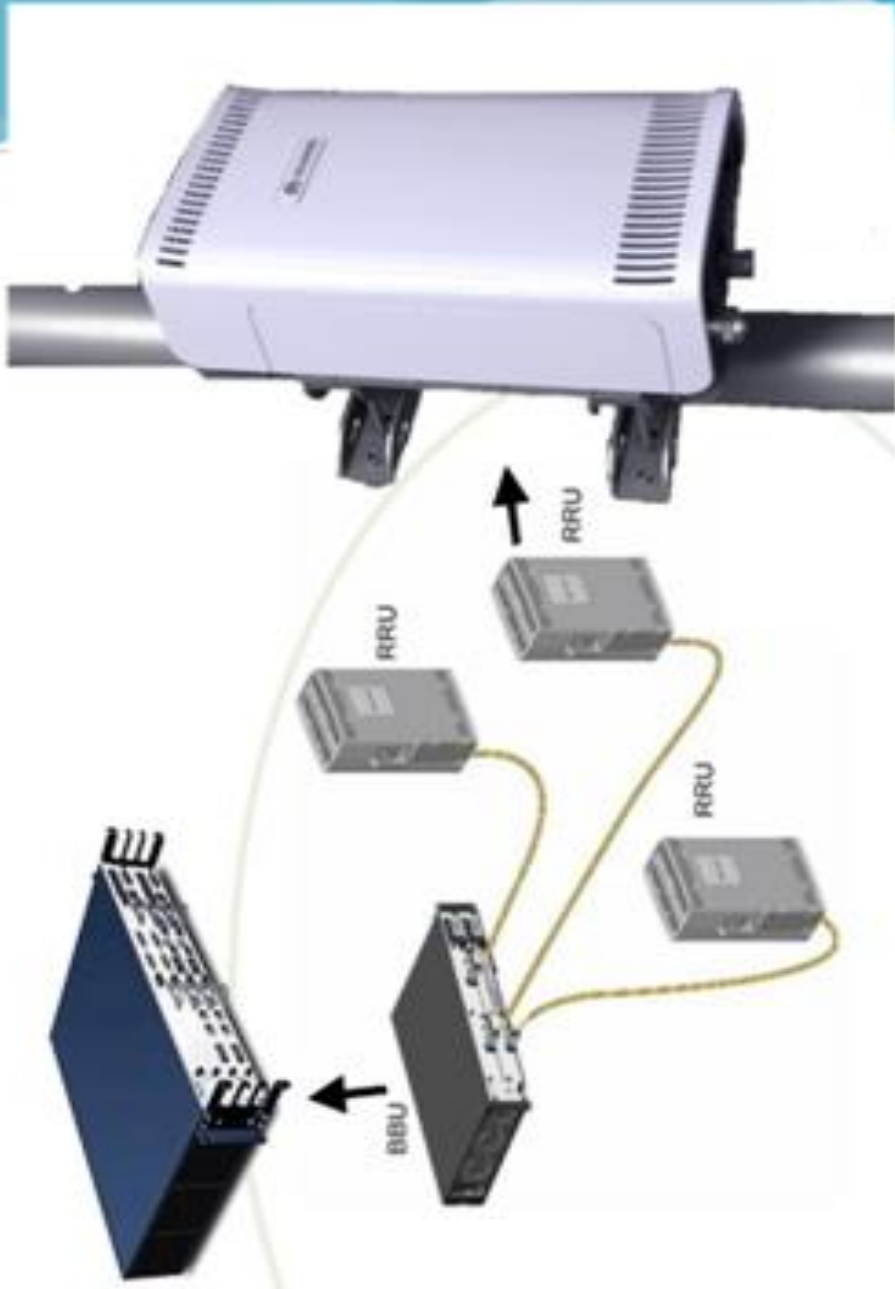
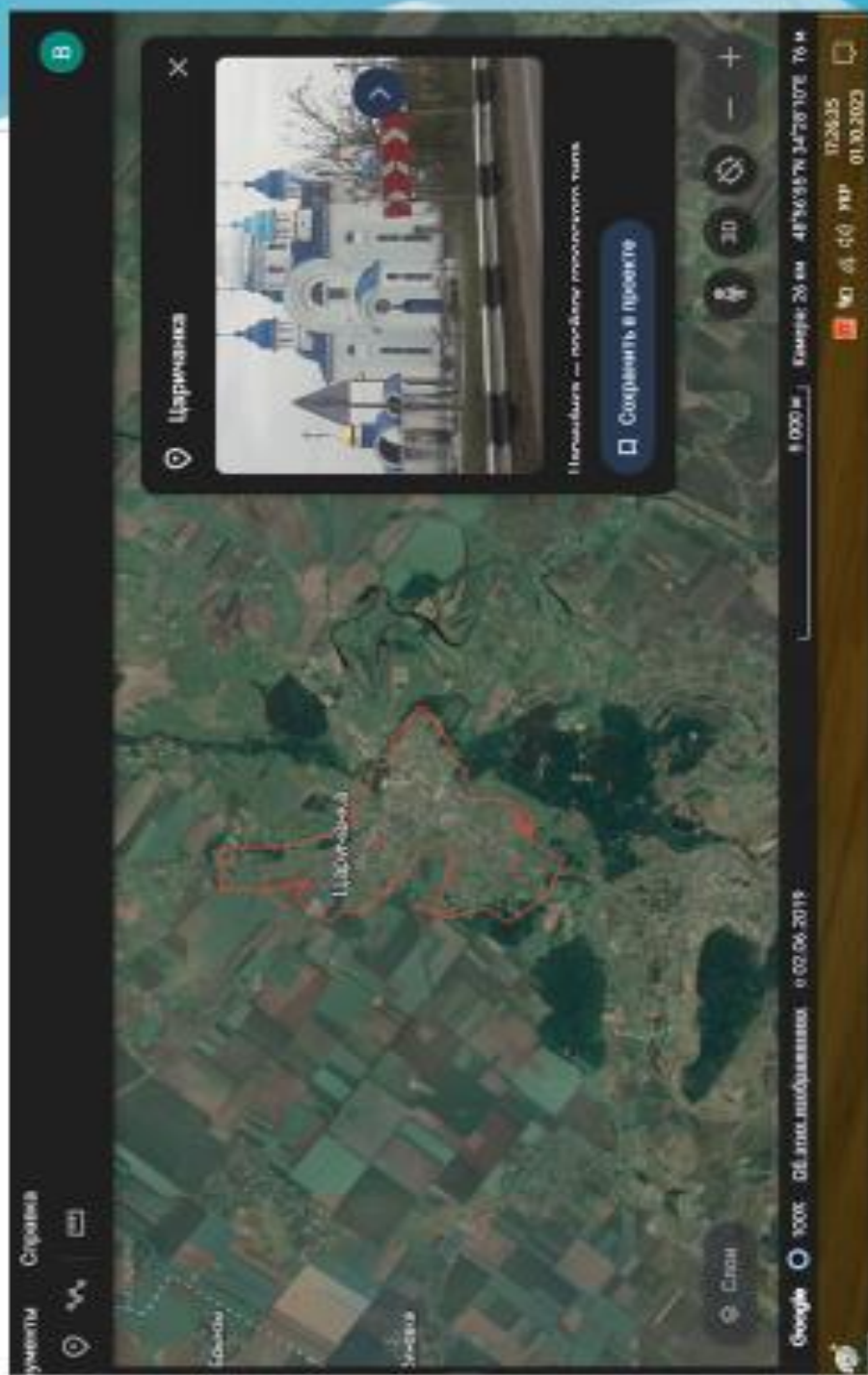


Рис. 3 - Базова станція фірми Huawei DBS 3900



*Рис. 4 – Поверх Wi-Fi Huawei E5372*



*Рис. 5 - Координаты Царичанки*



8

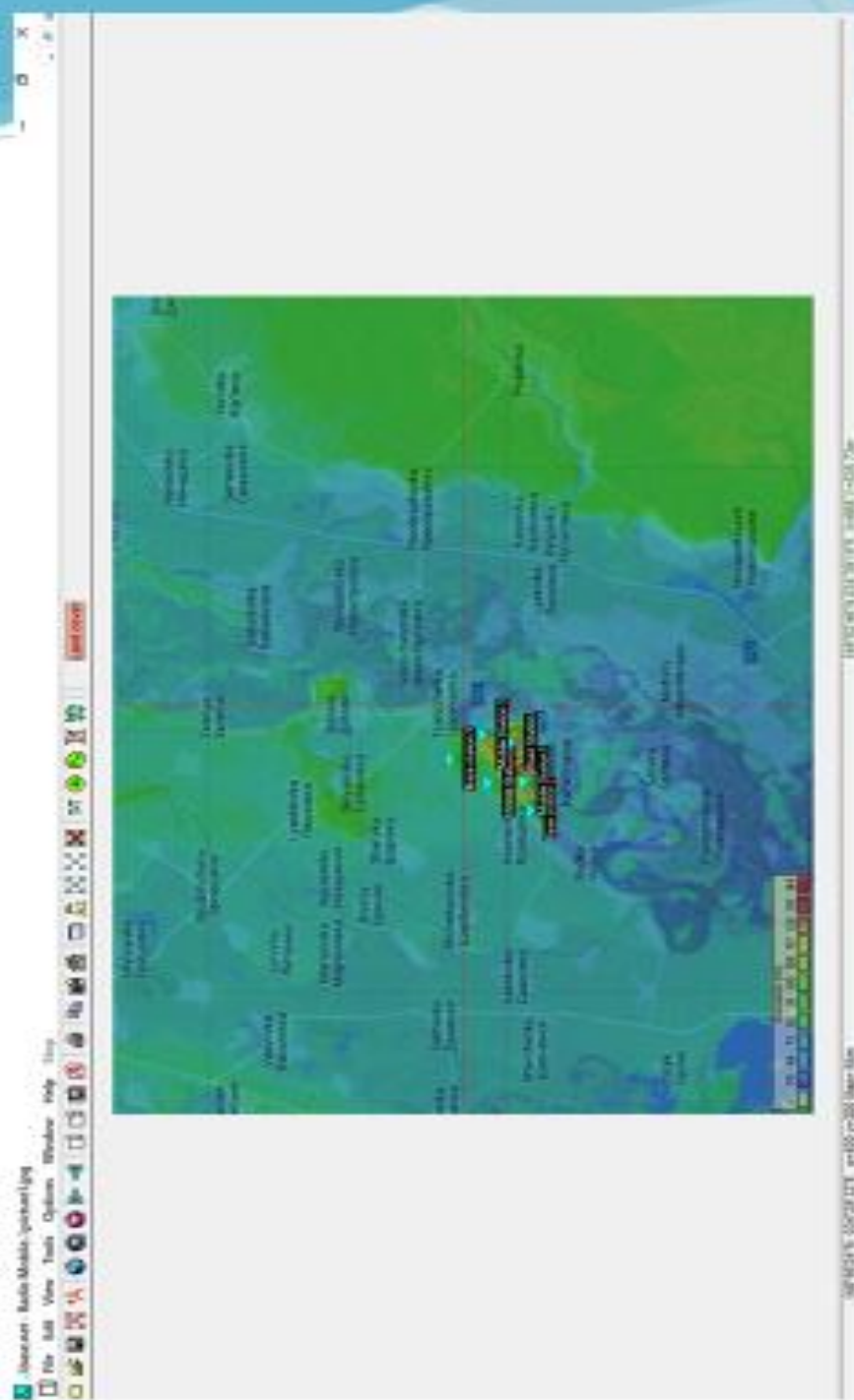
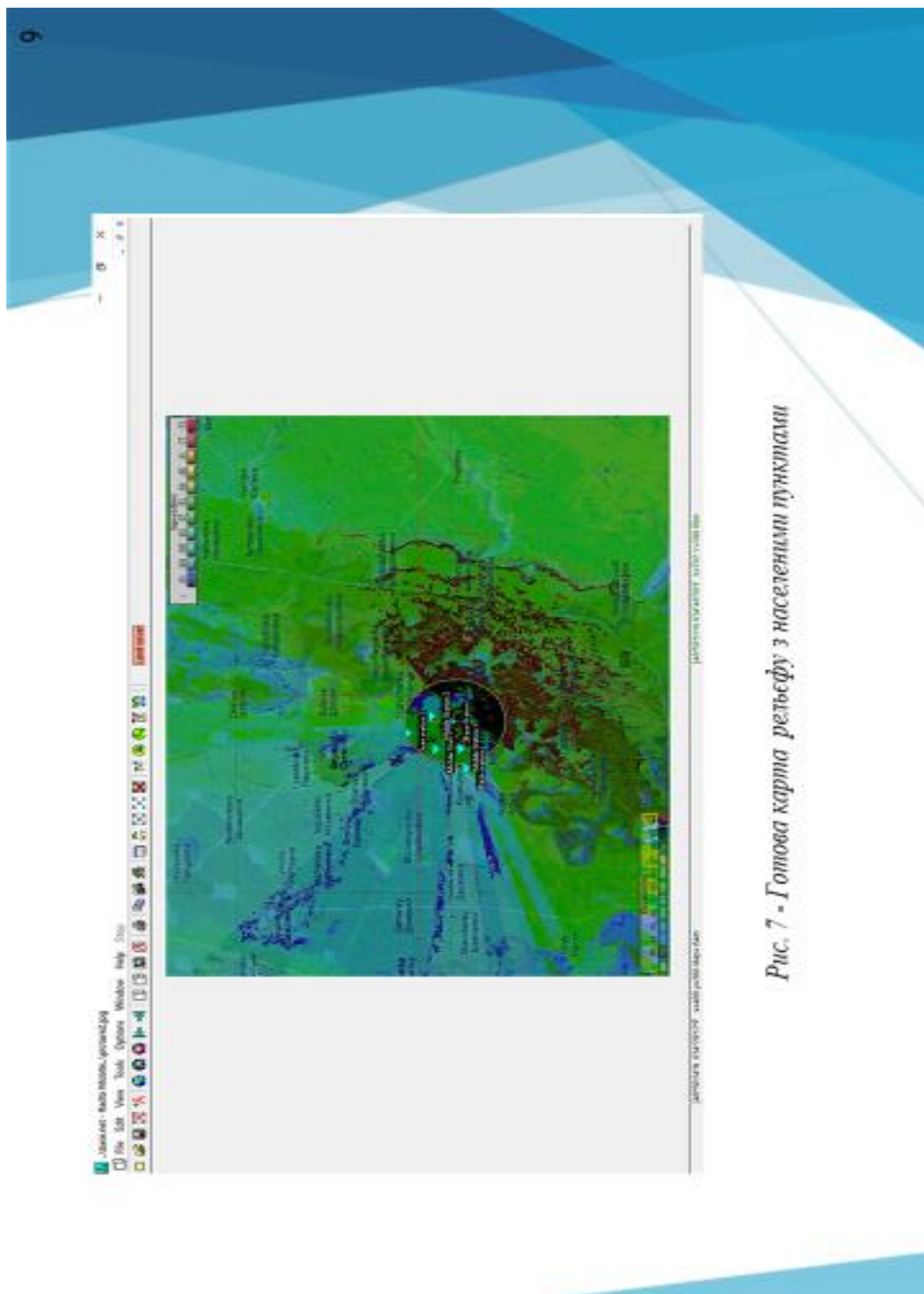


Рис. 6 - карта рельефу з населеними пунктами



## Висновки:

В магістерській роботі було проведено аналіз та архітектуру технології (4G) з порівнянням даної технології з її попередниками. Проаналізувавши переваги та недоліки стандарту у результаті для подальшого моделювання мобільного зв'язку в селищі міського типу було обрано стандарт LTE так, як він має своє протестоване обладнання та має достатньо велику зону покриття. При моделюванні мережі цього стандарту, було використано обладнання фірми Huawei. Це обладнання підтримує перехід до технології 5G . Що в майбутньому дозволить заощадити кошти. Опрацьована розрахункова частина з даними потрібними для розгортання стільникового зв'язку в селищі міського типу Царичанка. Змодельована імітаційна стільникова мережа технології (4G) селища міського типу Царичанка в програмному середовищі RADIO MOBILE. Буде великим кроком для Царичанки, покращення комунікаційної інфраструктури, що сприятиме розвитку сусільства та економіки регіону.

**Дякую за  
увагу!**

