

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

**БР.КІ-30.00.00.000 ПЗ**

**Група КІ-21-2**

**Гундерчук Андрій**

**2025**

Міністерство освіти і науки України

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Інститут інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних систем і мереж

**Гундерчук Андрій Петрович**

УДК 004.6:004.7

## **БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

**Оптимізація покриття безпроводної мережі Wi-Fi Калуського  
лицею №5 засобами програми NetSpot**

Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

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

Здобувач освітнього ступеня Гундерчук А.П.  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Возний І.І., асистент  
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

д.т.н., професор /С. І. Мельничук/  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025 рік

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

Факультет Інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерних систем і мереж

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою КСМ

д.т.н. С.І. Мельничук

« 05 » травня 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гундерчуку Андрію Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Оптимізація покриття безпроводної мережі Wi-Fi Калуського ліцею №5 засобами програми NetSpot

керівник проекту (роботи) Возний Ігор Іванович, асистент

затверджені наказом вищого навчального закладу від 05.05.2025 № 275/7

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12 червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Методичні вказівки, технічна література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітичний огляд сучасних підходів до побудови бездротових мереж. 2. Дослідження та аналіз існуючої бездротової мережі Калуського ліцею №5. 3. Розробка оптимізованої схеми покриття на основі віртуального моделювання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи


7. Дата видачі завдання 29 січня 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

<b>№ з/п</b>	<b>Назва етапів дипломного проекту (роботи)</b>	<b>Термін виконання етапів проекту (роботи)</b>	<b>Примітка</b>
1	<i>Збір інформації, вивчення літератури та пошук додаткової інформації</i>	<i>Лютий 2025р</i>	
2	<i>Аналітичний огляд сучасних підходів до побудови бездротових мереж</i>	<i>Березень 2025р</i>	
3	<i>Дослідження та аналіз існуючої бездротової мережі Калуського ліцею №5</i>	<i>Квітень 2025р</i>	
4	<i>Розробка оптимізованої схеми покриття на основі віртуального моделювання</i>	<i>Травень 2025р</i>	
5	<i>Оформлення додатків, дипломної роботи</i>	<i>Червень 2025р</i>	

Студент \_\_\_\_\_ Гундерчук А.П.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Возний І.І.

## АНОТАЦІЯ

У бакалаврській роботі розглядається процес аналізу, планування та вдосконалення бездротової мережі у Калуському ліцеї №5 з метою забезпечення стабільного, рівномірного та безпечного Wi-Fi покриття. Метою дослідження є розробка технічно обґрунтованого проєкту модернізації мережі для підвищення якості доступу до цифрових ресурсів в умовах навчального закладу.

У першому розділі наведено загальні відомості про ліцей як об'єкт дослідження, розкрито теоретичні основи побудови бездротових мереж, висвітлено чинники, що впливають на якість сигналу, а також проаналізовано сучасні підходи до організації Wi-Fi інфраструктури у закладах освіти.

Другий розділ присвячено дослідженню існуючої бездротової мережі в приміщеннях ліцею. Проведено обстеження якості сигналу, побудовано карти покриття, виявлено зони зі слабким з'єднанням і визначено основні недоліки поточної мережевої конфігурації. Отримані результати дозволили сформулювати технічні вимоги до її вдосконалення.

У третьому розділі розроблено оптимізовану модель покриття мережі на основі віртуального моделювання. Запропоновано нову схему розміщення пристроїв, яка забезпечує рівномірне покриття на всіх поверхах будівлі та прилеглий території, із можливістю поділу мережі за категоріями користувачів. Порівняння результатів доводить ефективність розробленого рішення.

Ключові слова: бездротова мережа, навчальний заклад, покриття Wi-Fi, моделювання мережі, аналіз сигналу, оптимізація мережі, стабільність з'єднання.

## ANNOTATION

This bachelor's thesis examines the process of analyzing, designing, and improving the wireless network in Kalush Lyceum No. 5 to ensure stable, consistent, and secure Wi-Fi coverage. The aim of the study is to develop a technically sound project for modernizing the network to enhance the quality of access to digital resources in an educational environment.

The first chapter presents general information about the lyceum as the object of research, outlines the theoretical foundations of wireless network design, explains the factors affecting signal quality, and reviews current approaches to organizing Wi-Fi infrastructure in educational institutions.

The second chapter focuses on the assessment of the existing wireless network in the lyceum building. Signal quality was surveyed, coverage maps were created, and areas with weak connectivity were identified. The analysis revealed key shortcomings in the current configuration and allowed for the formulation of requirements for its improvement.

The third chapter proposes an optimized network coverage model based on virtual simulation. A new placement scheme for network devices is proposed to provide even coverage across all floors and the adjacent area, including user group segmentation. Comparative results confirm the efficiency of the proposed solution.

Keywords: wireless network, educational institution, Wi-Fi coverage, network modeling, signal analysis, network optimization, connection stability.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ WI-FI МЕРЕЖ У НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ .....	8
1.1 Характеристика Калуського ліцею №5.....	8
1.1.1 Структура будівлі ліцею та її вплив на Wi-Fi покриття Структура будівлі ліцею та її вплив на Wi-Fi покриття.....	8
1.1.2 Особливості бездротової мережі .....	9
1.2 Основні стандарти в побудові Wi-Fi мереж.....	10
1.2.1 Стандарти бездротового зв'язку (Wi-Fi).....	10
1.2.2 Стандарти дротової передачі даних (Ethernet).....	12
1.2.3 Стандарти живлення по Ethernet (PoE).....	13
1.2.4 Супутні мережеві стандарти.....	14
1.3 Фактори, що впливають на якість покриття.....	15
1.4 Огляд програмних засобів для аналізу та моделювання Wi-Fi мереж.....	16
2 АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ІСНУЮЧОЇ WI-FI МЕРЕЖІ КАЛУСЬКОГО ЛІЦЕЮ №5.....	19
2.1 Огляд засобів аналізу мережі .....	19
2.1.1 Апаратне забезпечення .....	19
2.1.2 Програмне забезпечення .....	20
2.2 Методика проведення вимірювань та побудова карти покриття.....	21
2.2.1 Підготовка до вимірювань .....	21
2.2.2 Збір даних у приміщеннях .....	22
2.2.3 Побудова теплової карти покриття .....	23

					БР.КІ-30.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Оптимізація покриття безпроводної мережі Wi-Fi Калуського ліцею №5 засобами програми NetSpot	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Гундерчук А.П.						3	59
Перевір.		Возний І.І.							
Реценз.		Кропивницький Д.Р.							
Н. Контр.		Лазорів А.М.							
Затверд.		Мельничук С.І.						ІФНТУНГ, КІ-21-2	

2.3	Опис наявної інфраструктури .....	25
2.3.1	Характеристика безпроводної мережі .....	25
2.3.2	Топологія та принцип побудов.....	26
2.4	Аналіз результатів та виявлення проблемних зон .....	28
2.4.1	Карта рівня сигналу Wi-Fi .....	28
2.4.2	Співвідношення сигнал/шум (SNR).....	28
2.4.3	Перекриття каналів Wi-Fi .....	29
2.4.4	Карта швидкості передачі та прийому .....	30
2.5	Обмеження та похибки дослідження .....	30
2.6	Узагальнення результатів .....	31
3	ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ WI-FI МЕРЕЖІ .....	33
3.1	Мета моделювання .....	33
3.2	Підготовка плану приміщень для віртуального моделювання .....	34
3.2.1	Підготовка графічних матеріалів .....	34
3.2.2	Побудова елементів конструкції .....	35
3.3	Розширення мережі на територію ліцею .....	36
3.3.1	Обґрунтування необхідності зовнішнього покриття .....	36
3.3.2	Методика моделювання зовнішнього покриття в NetSpot....	37
3.4	Вибір обладнання для модернізації мережі.....	38
3.4.1	Обґрунтування необхідності зовнішнього покриття .....	38
3.4.2	Загальна архітектура мережі .....	39
3.4.3	Мережеве обладнання .....	40
3.5	Віртуальне моделювання покриття .....	43
3.5.1	Розміщення точок доступу на 1 поверсі .....	43
3.5.2	Розміщення точок доступу на 2 поверсі .....	45
3.5.3	Розміщення точок доступу на 3 поверсі .....	47
3.5.4	Розміщення точок доступу за межами будівлі .....	49
3.6	Аналіз точності результатів моделювання .....	50

3.7 Потенційні переваги впровадження .....	51
3.7.1 Проблеми та обмеження існуючої мережі .....	51
3.7.2 Переваги змодельованої мережі .....	53
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	57
ДОДАТКИ	
БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА	

					БР.КІ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ВСТУП

У Інформаційні технології займають важливе місце в освітньому процесі, забезпечуючи швидкий доступ до навчальних ресурсів, електронних журналів, комунікаційних платформ та онлайн-сервісів. У зв'язку з цим потреба у надійному, стабільному та безпечному підключенні до Інтернету стає особливо актуальною для закладів загальної середньої освіти. Одним із ключових компонентів цифрової інфраструктури є бездротова мережа, яка дозволяє учням і працівникам навчального закладу вільно користуватися мережевими ресурсами з будь-якої точки приміщення.

**Актуальність** теми зумовлена тим, що у багатьох навчальних закладах, зокрема й у Калуському ліцеї №5, бездротові мережі розгортаються без єдиного проєкту, з використанням побутового обладнання, що не розраховане на одночасне підключення великої кількості пристроїв. Як наслідок — виникають проблеми з якістю сигналу, швидкістю з'єднання, перекриттям каналів та відсутністю контролю над мережею. У таких умовах виникає необхідність у дослідженні поточної інфраструктури, виявленні недоліків та розробці обґрунтованих рішень щодо її покращення.

**Об'єктом дослідження** є процес побудови та оптимізації бездротових мереж у навчальних закладах.

**Предметом дослідження** виступають методи аналізу покриття Wi-Fi, виявлення проблем роботи мережі та засоби її покращення із застосуванням програмного моделювання.

**Метою роботи** є розробка проєкту оптимізації бездротової мережі в приміщеннях Калуського ліцею №5 з використанням програмних засобів, що дозволяє забезпечити стабільне та рівномірне покриття на всій території навчального закладу.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі **завдання**:

- проаналізувати сучасні підходи до побудови Wi-Fi мереж у навчальних закладах;

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

- дослідити стан існуючої бездротової мережі у ліцеї;
- побудувати карти покриття та визначити зони з недостатнім сигналом;
- змодельовати нову схему покриття на основі обраного програмного забезпечення;
- підібрати відповідне обладнання з урахуванням навантаження;
- оцінити ефективність запропонованої схеми в порівнянні з чинною мережею.

У процесі роботи використовувались такі **методи дослідження**, як аналіз літературних джерел, обстеження роботи бездротової мережі із візуалізацією покриття, віртуальне моделювання, порівняльний аналіз та оцінювання результатів.

**Практичне значення роботи** полягає в тому, що результати дослідження можуть бути безпосередньо використані для оновлення бездротової мережі у Калуському ліцеї №5. Запропоноване рішення дозволить покращити якість з'єднання, забезпечити стабільну роботу Інтернету у всіх приміщеннях, а також створити більш безпечну та зручну цифрову інфраструктуру для учнів і педагогів.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ WI-FI МЕРЕЖ У НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

## 1.1 Характеристика Калуського ліцею №5

Калуський ліцей №5 Калуської міської ради Івано-Франківської області є закладом загальної середньої освіти комунальної форми власності, розташованим у місті Калуш за адресою: вул. Хіміків, 20. Станом на 2025 рік у ліцеї навчається 676 учнів у 28 класах, з яких 12 є інклюзивними, що охоплюють 19 учнів з особливими освітніми потребами. Освітній процес забезпечують 82 працівники, включаючи педагогічний та адміністративний персонал.

Ліцей активно впроваджує сучасні освітні технології, зокрема елементи STEM-освіти, використання цифрових платформ для дистанційного навчання та електронного документообігу. Такий підхід вимагає наявності надійної та високошвидкісної бездротової мережі, яка забезпечує стабільний доступ до Інтернету для учнів та вчителів у всіх приміщеннях закладу [1].

### 1.1.1 Структура будівлі ліцею та її вплив на Wi-Fi покриття

Будівля Калуського ліцею №5 є триповерховою капітальною навчальною спорудою з типовим плануванням для загальноосвітніх закладів. Основу конструкції становлять цегляні зовнішні стіни та залізобетонні міжповерхові перекриття, які суттєво впливають на характеристики поширення бездротового сигналу.

Загальна площа приміщень перевищує 5000 м<sup>2</sup>, а внутрішній простір розділено на понад 130 функціональних зон, включаючи навчальні кабінети, лабораторії, бібліотеку, адміністративні офіси, спортивну залу, їдальню та укриття. Приміщення розташовані вздовж центральних коридорів, переважно з обох боків, що призводить до значної кількості внутрішніх перешкод для радіохвиль. У таких умовах сигналу доводиться проходити через численні перегородки, що знижує його рівень навіть на коротких відстанях.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

Цегляні стіни та бетонні плити мають високі коефіцієнти поглинання сигналу, особливо у високочастотному діапазоні. Зокрема, сигнал на частоті 5 ГГц значно швидше згасає при проходженні крізь стіни, ніж сигнал 2.4 ГГц, і майже повністю блокується при проходженні через бетонні міжповерхові перекриття. Це унеможлиблює обслуговування кількох поверхів однією точкою доступу — необхідне окреме обладнання на кожному рівні.

Також варто враховувати, що шкільні будівлі часто мають посилені технічні конструкції (наприклад, колонні або аварійні стіни), які додатково ускладнюють поширення радіохвиль. У багатьох випадках сигнал, що проходить навіть одну перегородку, знижується на 10–20 дБ, що може призвести до втрати зв'язку або значного зменшення швидкості.

Таким чином, архітектура будівлі безпосередньо впливає на формування зони покриття, якість з'єднання, рівень шуму та стабільність роботи Wi-Fi. Ефективне проектування бездротової мережі в такому середовищі вимагає зонального планування та обов'язкового врахування матеріалів будівлі при моделюванні сигналу.

Плани всіх трьох поверхів, що використовувались для аналізу та моделювання покриття, наведені у додатку В (рис. В.1–В.3).

### **1.1.2 Особливості бездротової мережі**

Існуюча бездротова мережа в приміщеннях Калуського ліцею №5 сформувалась поступово, без єдиного проектного підходу чи попереднього зонального планування. Обладнання встановлювалося в міру потреби, з використанням доступних на той момент пристроїв, які переважно належали до початкового рівня SOHO-сегменту.

Основну частину мережі складають окремі автономні точки доступу, розміщені переважно в навчальних кабінетах. У більшості випадків вони закріплені на стінах або розміщені на високих меблях (шафах), орієнтовані у напрямку центру приміщення. Це забезпечує локальне посилення сигналу всередині кабінету, однак не гарантує покриття в суміжних приміщеннях чи коридорах. У багатьох випадках сигнал не проходить через сусідні стіни або значно згасає, що призводить до

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

утворення мертвих зон і нестабільного з'єднання.

Через відсутність централізованого керування всі точки працюють незалежно одна від одної, без підтримки безшовного роумінгу, пріоритезації трафіку або адаптивного перемикавання між частотними діапазонами. Це особливо відчутно у зонах перекриття покриття, де користувачі змушені вручну перемикатись між точками або втрачають з'єднання при переміщенні.

Живлення більшості точок доступу здійснюється через стандартні адаптери, підключені до найближчих розеток. Це обмежує варіативність їх розміщення та створює додаткове навантаження на електромережу. Дротове підключення до мережі забезпечується через Fast Ethernet-комутатори, встановлені у комп'ютерних класах і серверній кімнаті, які не підтримують керування VLAN або гігабітні інтерфейси.

В окремих зонах мережа має фрагментовану структуру, коли кілька точок доступу можуть передавати однаковий SSID без синхронізації, що призводить до конфліктів каналів, дублювання ширококомовного трафіку та погіршення якості з'єднання. Також слід відзначити, що IP-адреси часто призначаються вручну або через автономні DHCP-модулі в кожному маршрутизаторі, що створює ризик дублювання адрес або нестабільної маршрутизації.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що поточна бездротова інфраструктура є технічно застарілою, має обмежену масштабованість і не відповідає сучасним вимогам до надійності, безпеки та продуктивності. Це створює передумови для впровадження модернізованої мережі з централізованим керуванням, підтримкою VLAN та адаптивним покриттям, що і стало предметом даного дослідження.

## **1.2 Основні стандарти в побудові Wi-Fi мереж**

### **1.2.1 Стандарти бездротового зв'язку (Wi-Fi)**

Основу функціонування сучасних бездротових мереж становлять стандарти сімейства IEEE 802.11, які регламентують параметри фізичного рівня (PHY) і рівня керування доступом до середовища (MAC). З моменту впровадження перших

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

специфікацій ця група стандартів постійно еволюціонувала, зосереджуючись на підвищенні швидкості, стабільності, енергоефективності та ефективності багатокористувацької роботи.

IEEE 802.11n (Wi-Fi 4) — прийнятий у 2009 році, став проривом у порівнянні з попередніми версіями. Він підтримує роботу в двох діапазонах частот — 2.4 ГГц та 5 ГГц, а завдяки впровадженню технологій MIMO (багатоантенна передача) та Channel Bonding (об'єднання каналів), забезпечує швидкість передачі до 600 Мбіт/с. Цей стандарт залишається поширеним у побутових мережах та комп'ютерних класах завдяки своїй сумісності з попередніми пристроями [2].

IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5) — прийнятий у 2013 році, орієнтований виключно на діапазон 5 ГГц. Завдяки технологіям MU-MIMO (багатокористувацьке MIMO), Beamforming (спрямоване формування променя) та ширшим каналам (до 160 МГц), він забезпечує швидкість до 6,9 Гбіт/с. Стандарт значно покращує стабільність з'єднання у багатокористувацьких середовищах і зменшує вплив перешкод у радіоефірі. Однак він не підтримує діапазон 2.4 ГГц, тому для повного покриття необхідне комбіноване обладнання [3].

IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6 / 6E) — представлений у 2019 році, підтримує роботу в діапазонах 2.4, 5 та 6 ГГц. Основними перевагами є OFDMA (мультиплексування за частотою), Target Wake Time (енергоефективність) і розширене MU-MIMO. Стандарт призначений для роботи в середовищах з високою щільністю користувачів (школи, офіси, ТЦ), забезпечуючи до 4 разів кращу пропускну здатність у порівнянні з 802.11ac. Варіант 6E дозволяє використовувати додатковий 6 ГГц діапазон, зменшуючи затори на традиційних частотах [4].

IEEE 802.11be (Wi-Fi 7) — очікується у 2024 році як наступний етап розвитку. Він забезпечує надвисокі швидкості (до 46 Гбіт/с у теорії) та мінімальну затримку завдяки Multi-Link Operation (одночасна робота на кількох частотах), 4096-QAM (висока модуляція) та puncturing (динамічна адаптація до перешкод). Wi-Fi 7 орієнтований на вимогливі сценарії, як-от потокове 8K-відео, AR/VR, геймінг і надмасштабовані освітні мережі [5].

Порівняльну характеристику основних стандартів бездротового зв'язку наведено в таблиці 1.1.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

**Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика бездротових стандартів IEEE 802.11**

Стандарт	Частоти (ГГц)	Максимальна швидкість	Ключові технології	Рік	Особливості
<b>802.11n</b>	2.4 / 5	до 600 Мбіт/с	MIMO, Channel Bonding	2009	Поширений у побутових мережах, сумісний з попередніми стандартами
<b>802.11ac</b>	5	до 6,9 Гбіт/с	MU-MIMO, Beamforming	2013	Підтримка високошвидкісного зв'язку, тільки 5 ГГц
<b>802.11ax (Wi-Fi 6)</b>	2.4 / 5 / 6	до 9,6 Гбіт/с	OFDMA, MU-MIMO, Target Wake Time	2019	Оптимізація багатокористувацького доступу, Wi-Fi 6E = 6 ГГц
<b>802.11be (Wi-Fi 7)</b>	2.4 / 5 / 6	до 46 Гбіт/с (теоретично)	Multi-Link Operation, 4096-QAM	2024*	Очікується впровадження, надвисокі швидкості, мінімальна затримка

Хронологія впровадження зазначених стандартів регламентується технічною документацією робочої групи IEEE 802.11, що регулярно оновлює специфікації відповідно до потреб ринку та технологічного прогресу [6].

### 1.2.2 Стандарти дротової передачі даних (Ethernet)

Підключення точок доступу, маршрутизаторів, серверів і комутаторів здійснюється за допомогою стандартів IEEE 802.3, які регламентують дротову передачу даних через мідні або оптоволоконні кабелі [7]. Ethernet-технології є основою локальних мереж (LAN) і забезпечують надійне з'єднання з високою пропускною здатністю.

Із розвитком потреб у більших швидкостях і стабільності було впроваджено декілька варіантів стандартів, які дозволяють адаптувати мережеву інфраструктуру під сучасні вимоги. Зокрема, гігабітні та мультигігабітні стандарти використовуються для підключення точок доступу стандартів Wi-Fi 6 і вище, а також для з'єднання міжмережевих пристроїв у ядрах мереж.

У таблиці 1.2 наведено порівняльні характеристики основних варіантів стандарту Ethernet, що використовуються у навчальних закладах та комерційних мережах.

**Таблиця 1.2 – Основні стандарти дротового Ethernet-зв’язку**

Стандарт	Тип	Швидкість	Тип кабелю	Дальність	Примітки
<b>802.3u</b>	Fast Ethernet	100 Мбіт/с	UTP cat.5	до 100 м	Для базових дротових мереж
<b>802.3ab</b>	Gigabit Ethernet	1 Гбіт/с	UTP cat.5e або вище	до 100 м	Найпоширеніший стандарт для локальних мереж
<b>802.3bz</b>	2.5G / 5GBASE-T	2.5–5 Гбіт/с	UTP cat.5e або cat.6	до 100 м	Використовується для модернізації без зміни кабелів
<b>802.3ae</b>	10G Ethernet	10 Гбіт/с	Оптоволокно	до 10 км	Переважно для дата-центрів і серверних вузлів

### 1.2.3 Стандарти живлення по Ethernet (PoE)

Живлення точок доступу, IP-камер відеоспостереження, телефонів VoIP та інших мережевих пристроїв може здійснюватися не лише через окреме електроживлення, а й безпосередньо за допомогою мережевого кабелю завдяки технології Power over Ethernet (PoE). Це значно спрощує інсталяцію обладнання, зменшує витрати на прокладання електричних ліній та підвищує гнучкість розміщення пристроїв.

PoE передбачає передачу енергії через виту пару одночасно з передачею даних, відповідно до стандартів IEEE 802.3. Існує декілька основних версій цих стандартів, зокрема IEEE 802.3af (PoE), IEEE 802.3at (PoE+), IEEE 802.3bt (PoE++), що відрізняються максимальною потужністю на порт, напругою живлення та підтримуваними типами пристроїв. Вибір конкретного стандарту визначається енергоспоживанням пристрою та сумісністю з комутатором або інжектором [8].

У таблиці 1.3 подано порівняння основних стандартів PoE, їх параметрів та типових сценаріїв використання. Зокрема, сучасні точки доступу стандарту Wi-Fi 6 і вище часто потребують живлення, яке перевищує можливості базового стандарту IEEE 802.3af, тому для них актуальними є PoE+ або PoE++.

**Таблиця 1.3 – Стандарти живлення PoE та їх характеристика**

Стандарт	Потужність (Вт)	Напруга живлення	Типи пристроїв	Примітки
1	2	3	4	5
<b>IEEE 802.3af (PoE)</b>	до 15.4	44–57 В	Точки доступу Wi-Fi 4/5, IP-камери	Базовий рівень PoE, обмежена потужність

1	2	3	4	5
<b>IEEE 802.3at (PoE+)</b>	до 30	50–57 В	Wi-Fi 5/6 AP, PTZ-камери	Розширена потужність для більш енергоємного обладнання
<b>IEEE 802.3bt (PoE++)</b>	до 60–100	50–57 В	Потужні дисплеї, точки Wi-Fi 6E/7, світлодіодні панелі	Підтримка високонавантажених пристроїв, 4 пари живлення

#### 1.2.4 Супутні мережеві стандарти

Для забезпечення ефективного функціонування, масштабованості, безпеки та керованості сучасної комп'ютерної мережі необхідне впровадження додаткових технологій та протоколів, які не входять безпосередньо до специфікацій бездротового чи провідного з'єднання, але критично важливі для організації інфраструктури.

Нижче наведено основні стандарти та протоколи, які супроводжують побудову та експлуатацію локальних мереж у навчальних закладах. Їх впровадження дозволяє створити гнучке середовище з розмежуванням доступу, забезпеченням контролю користувачів, підтримкою безшовного роумінгу та централізованим моніторингом мережевих пристроїв.

— IEEE 802.1Q – підтримка VLAN (віртуальних локальних мереж), що дозволяє розділяти мережу на логічні сегменти.

— IEEE 802.1X – механізм контролю доступу до мережі з автентифікацією користувачів (часто з використанням сервера RADIUS).

— IEEE 802.11r/k/v – серія розширень для забезпечення безшовного роумінгу між точками доступу Wi-Fi.

— SNMP (Simple Network Management Protocol) – протокол керування мережею, що дозволяє моніторити та налаштовувати мережеві пристрої.

— DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) – автоматичне надання IP-адрес пристроям у мережі.

— NAT (Network Address Translation) – перетворення адрес для сполучення внутрішніх і зовнішніх мереж.

— PPPoE (Point-to-Point Protocol over Ethernet) – інкапсуляція протоколу PPP поверх Ethernet для авторизації інтернет-з'єднання.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

### 1.3 Фактори, що впливають на якість покриття

Якість покриття безпроводної мережі є визначальним чинником стабільності з'єднання, швидкості передачі даних і загального користувацького досвіду. Основним джерелом сигналу в бездротовій мережі є точка доступу, і одним із ключових факторів, що впливають на покриття, є потужність її передавача. Занадто висока потужність може спричинити небажане перекриття з сусідніми точками, викликаючи інтерференцію, тоді як недостатня — призводить до появи «мертвих зон», у яких сигналу немає або він нестабільний.

Велике значення має тип антен, встановлених на точках доступу, та їхнє фізичне розташування. Всеспрямовані антени рівномірно розповсюджують сигнал навколо себе, тоді як секторні можуть сконцентрувати потужність у визначеному напрямку. Неправильне розміщення, наприклад біля металевих конструкцій, у нішах чи над підвісною стелею, може значно зменшити ефективність розповсюдження сигналу навіть за умов високої номінальної потужності пристрою.

Частотний діапазон також має істотний вплив на якість покриття. Сигнал у діапазоні 2.4 ГГц має більший радіус дії та краще проходить крізь перешкоди, однак частіше піддається зовнішнім завадам. Діапазон 5 ГГц дозволяє досягати вищої швидкості, але має обмежену здатність проникати крізь стіни та перекриття. Наприклад, цегла, бетон або армовані конструкції можуть послабити сигнал на десятки децибел [9].

Одним із головних джерел втрати сигналу є будівельні матеріали. Бетонні стіни, армовані плити перекриття, металева арматура та спеціалізовані вікна з металевими плівками значно погіршують рівень сигналу. У межах одного приміщення Wi-Fi може працювати стабільно, однак після проходження через одну-дві стіни рівень сигналу може впасти до критичного, особливо в діапазоні 5 ГГц. Це підтверджується результатами аналізу теплових карт покриття, побудованих у середовищі NetSpot.

Серйозний вплив мають і джерела інтерференції — як постійні, так і тимчасові. До постійних належать інші Wi-Fi мережі, що працюють на тих самих

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		15

каналах. Тимчасові — це побутові пристрої, що працюють у 2.4 або 5 ГГц: мікрохвильовки, Bluetooth-девайси, безпроводні телефони, IP-камери тощо. Усі вони можуть спричиняти короткотривалі, але суттєві завади [10].

Слід також враховувати динамічні перешкоди, які виникають унаслідок перебування великої кількості людей у приміщенні. Тіла людей частково поглинають радіохвилі, особливо в діапазоні 5 ГГц. Під час перерв або масових заходів якість сигналу може суттєво знижуватися в коридорах та актових залах, навіть якщо при моделюванні були передбачені достатні зони покриття. Також зростає навантаження на точки доступу, що працюють у багатокористувацькому режимі, й особливо актуальним стає використання MU-MIMO для розподілу ресурсу.

Не варто ігнорувати і вплив сторонніх пристроїв — мікрохвильових печей, бездротових телефонів, Bluetooth-адаптерів, IP-камер і навіть безпроводних мишей. Усі ці пристрої працюють в одному спектрі і можуть створювати короткотривалі, але значущі завади. Їхній вплив виявляється через раптове погіршення якості передачі або нестабільність сигналу у конкретних точках простору.

#### **1.4 Огляд програмних засобів для аналізу та моделювання Wi-Fi мереж**

Для проектування, обстеження та оптимізації бездротових мереж у навчальних закладах використовуються спеціалізовані програмні засоби, що дозволяють будувати карти покриття, аналізувати якість сигналу та планувати розміщення обладнання на основі реальних чи віртуальних даних. У цьому пункті наведено короткий огляд найпопулярніших програм для аналізу та моделювання Wi-Fi мереж.

EkaHau AI Pro — це один з найпотужніших професійних інструментів, орієнтований на корпоративне середовище. Програма дозволяє проводити повний цикл роботи з бездротовою мережею — від планування до моделювання покриття, оптимізації щільності точок доступу, підтримки сучасних стандартів (Wi-Fi 6/6E/7), симуляції в режимах підвищеного навантаження. Інтеграція з платформою

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		16

EkaHau Connect дає змогу збирати дані за допомогою мобільних пристроїв, синхронізувати результати в хмарі та генерувати детальні звіти [11].

NetSpot — це доступне та зручне програмне забезпечення для обстеження й віртуального планування бездротових мереж, яке добре підходить для навчальних закладів. Програма підтримує активне й пасивне обстеження, а також режим Predictive Survey для віртуального моделювання. Завдяки простому інтерфейсу, вона дозволяє швидко створити теплові карти, виявити зони слабкого покриття та оцінити ефективність розміщення точок доступу без складного навчання [12].

Acrylic Wi-Fi Heatmaps — забезпечує побудову теплових карт на основі реального обстеження. Програма орієнтована на технічних спеціалістів, дозволяє здійснювати вимірювання сили сигналу, аналізувати канали та створювати графічні звіти. Хоча її інтерфейс є менш інтуїтивним, ніж у NetSpot, вона має потужні функції експорту даних [13].

inSSIDer — це базова утиліта, призначена для швидкої перевірки параметрів сигналу, рівня шуму та використання каналів. Підходить для простих діагностичних завдань, однак не підтримує створення карт покриття чи моделювання мереж [14].

Порівняльну характеристику розглянутого програмного забезпечення наведено в таблиці 1.4.

**Таблиця 1.4 – Порівняльна характеристика програмного забезпечення для аналізу та моделювання Wi-Fi мереж**

Програмне забезпечення	Призначення	Підтримка обстеження	Складність використання	Вартість	Платформи
1	2	3	4	5	6
<b>EkaHau AI Pro</b>	Професійне планування та моделювання Wi-Fi	Пасивне, активне, Predictive Survey	Висока (професійне навчання)	Висока	Windows, macOS
<b>NetSpot</b>	Аналіз і моделювання Wi-Fi	Пасивне, активне, Predictive Survey	Низька (інтуїтивно зрозумілий інтерфейс)	Помірна / Безкоштовна версія	Windows, macOS
<b>Acrylic Wi-Fi Heatmaps</b>	Створення теплових карт, аналіз сили сигналу	Пасивне, активне	Середня	Середня	Windows

1	2	3	4	5	6
<b>inSSIDer</b>	Базовий моніторинг бездротових мереж	Пасивне	Низька	Безкоштовна / недорога	Windows, macOS

На основі проведеного огляду можна зробити висновок, що NetSpot є найбільш доцільним вибором для задачі оптимізації бездротової мережі у Калуському ліцеї №5. Він поєднує достатній набір функцій для аналізу та моделювання, має доступну версію, не потребує додаткового обладнання та забезпечує швидке візуальне представлення результатів. Крім того, підтримка Predictive Survey дозволяє змоделювати покриття до фактичного встановлення обладнання.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

## 2 АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ІСНУЮЧОЇ WI-FI МЕРЕЖІ КАЛУСЬКОГО ЛІЦЕЮ №5

### 2.1 Огляд засобів аналізу мережі

У професійній практиці для збору та аналізу даних щодо якості покриття бездротових мереж Wi-Fi часто застосовуються апаратно-програмні комплекси, що поєднують високоточні портативні аналізатори спектру, зовнішні адаптери з розширеними функціями вимірювання, а також спеціалізовані програмні платформи на кшталт Ekahau Sidekick, NetAlly AirCheck G3 або AirMagnet Survey Pro. Такі рішення дозволяють здійснювати детальне зондування радіоефіру, враховувати міжканальні завади, щільність клієнтів, спектральне навантаження та інші параметри, що мають критичне значення при розгортанні великих або комерційних Wi-Fi мереж.

У контексті дослідницької роботи, проведеної в умовах навчального закладу, було прийнято рішення використовувати персональне обладнання студента — ноутбук із підтримкою сучасних Wi-Fi стандартів — та доступне програмне забезпечення. Такий підхід дозволив забезпечити достатній рівень точності для аналізу якості покриття та визначення проблемних зон у межах навчального корпусу Калуського ліцею №5, з урахуванням поставлених дослідницьких завдань і технічних ресурсів.

#### 2.1.1 Апаратне забезпечення

Вимірювання проводились за допомогою ноутбука Acer Aspire 3 A315-58-553J [15], який забезпечує базову технічну відповідність для виконання завдань з аналізу бездротових мереж. Ноутбук оснащений вбудованим Wi-Fi адаптером Intel Wi-Fi 6 AX201 [16], що підтримує сучасні стандарти зв'язку, включаючи 802.11ax (Wi-Fi 6). Основні технічні характеристики ноутбука наведено в Додатку Г (табл. Г.12)., а детальні характеристики бездротового адаптера — в Додатку Г (табл. Г.13).

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		19

## 2.1.2 Програмне забезпечення

Для дослідження бездротової мережі було використано програму NetSpot у режимі Survey, відповідно до попереднього обґрунтування в підрозділі 1.4 Висновок щодо вибору програмного забезпечення. NetSpot дозволяє здійснювати вимірювання параметрів сигналу в реальних умовах, а також візуалізувати результати у вигляді теплових карт покриття, карт співвідношення сигнал/шум (SNR), рівня завад (SIR) та інших метричних показників якості бездротової мережі.

Програмне забезпечення підтримує два основні режими роботи — Inspector і Survey. У рамках цієї роботи використовувався саме Survey-режим, який дозволяє будувати інтерактивні карти покриття на основі даних, зібраних під час переміщення з ноутбуком у межах досліджуваної зони. Програма автоматично обробляє отримані значення потужності сигналу від усіх виявлених точок доступу та формує відповідні карти, що відображають інтенсивність покриття по всій площі поверху.

На рисунку 2.1 зображено головне вікно програми NetSpot у Survey-режимі.

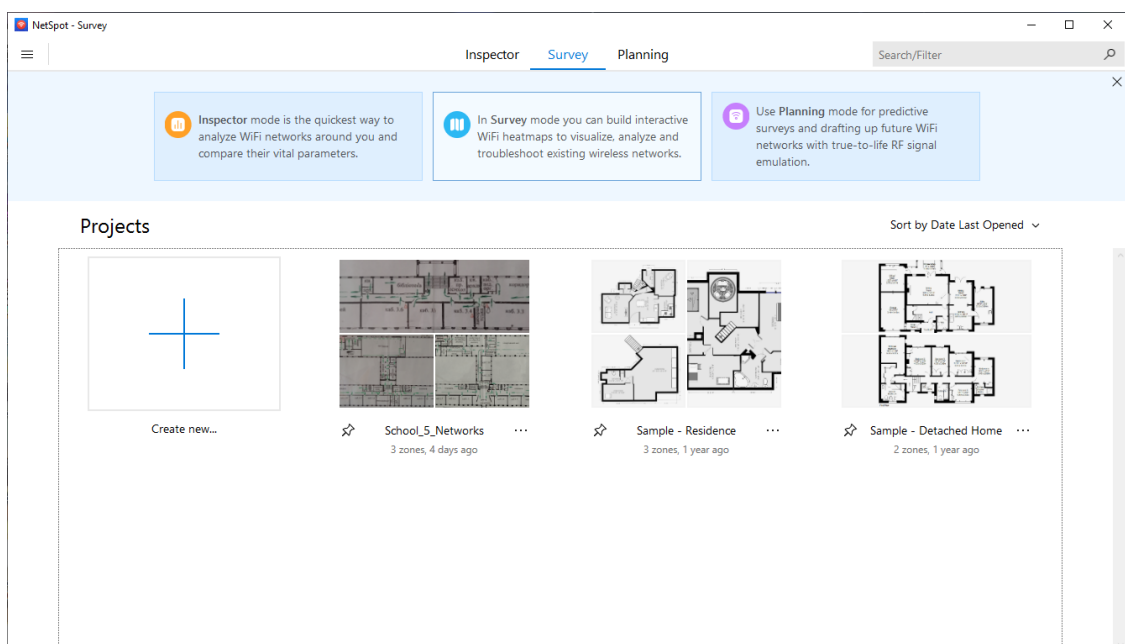


Рисунок 2.1 – Інтерфейс програми NetSpot у режимі Survey

В верхній частині вікна знаходяться перемикачі режимів роботи: Inspector, Survey та Planning, з коротким описом кожного з них. Нижче відображено список

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

наявних проєктів, серед яких збережено карту з обстеження мережі Калуського ліцею №5 під назвою School\_5\_Networks. Присутність таких проєктів дає змогу переглядати результати попередніх вимірювань, повторно відкривати карти поверхів та порівнювати якість сигналу у різних часових проміжках.

## **2.2 Методика проведення вимірювань та побудова карти покриття**

### **2.2.1 Підготовка до вимірювань**

З метою отримання об'єктивних та відтворюваних даних щодо стану покриття існуючої бездротової мережі Wi-Fi у приміщеннях Калуського ліцею №5 було застосовано спеціалізоване програмне забезпечення NetSpot, яке підтримує режим повноцінного обстеження мережі (Survey Mode). Обрана методика передбачає переміщення з ноутбуком у межах кожного поверху будівлі із фіксацією вимірювань сигналу в контрольних точках, що розміщені відповідно до логіки використання простору. Це дозволяє не лише оцінити рівень сигналу в кожній окремій зоні, а й сформувані візуальні карти покриття та зони стабільної/нестабільної роботи мережі.

На початковому етапі у середовищі NetSpot було завантажено план поверху навчального закладу у форматі JPEG. Для забезпечення точного просторового розміщення вимірювань було виконано процедуру калібрування масштабу, яка передбачає позначення відомої відстані між двома орієнтирами на плані. Для цього використовувалась рулетка, за допомогою якої вимірювалась реальна відстань між стінами або характерними архітектурними елементами в приміщенні.

Процес калібрування дозволив синхронізувати цифровий план із фізичними координатами, що забезпечило коректну побудову теплових карт у системі координат будівлі. На рисунку 2.2 наведено приклад вікна калібрування масштабу, який демонструє, як фіксується еталонна відстань безпосередньо на завантаженому плані.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

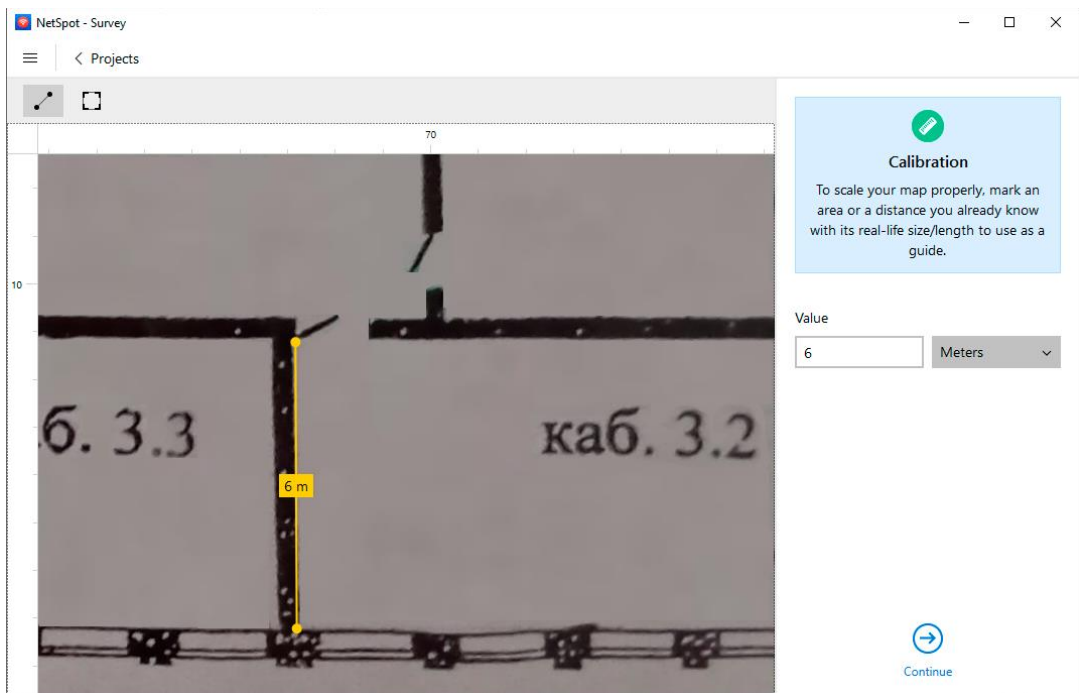


Рисунок 2.2 – Процес калібрування масштабу плану в програмі NetSpot

### 2.2.2 Збір даних у приміщеннях

Після підготовки до вимірювань виконувалося послідовне обстеження приміщень Калуського ліцею №5: навчальні кабінети, коридори, адміністративні приміщення, а також великі зали та переходи. Обхід здійснювався у режимі Survey програми NetSpot, що передбачає створення ряду вимірювальних точок безпосередньо на завантаженому плані поверху.

У кожному приміщенні створювались точки збору даних, кількість яких залежала від розміру кімнати та складності її форми. У середньому на одне приміщення припадало від 5 до 15 точок. У коридорах та зонах із високою щільністю використання мережі щільність точок була вищою. В усіх випадках розміщення точок виконувалося рівномірно для отримання репрезентативних результатів. Позиціювання здійснювалося вручну із залученням просторових орієнтирів (двері, вікна, меблі), а також рулетки — для уточнення положення точок у великих приміщеннях.

Програма NetSpot автоматично фіксувала координати точки та виконувала заміри таких параметрів: RSSI (рівень прийнятого сигналу), SNR (співвідношення сигнал/шум), Noise (фоновий шум), SSID, BSSID, канал, тип безпеки доступних мереж. Таким чином, для кожної точки було сформовано набір технічних

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

характеристик, який згодом використовувався для побудови теплових карт покриття.

На рисунку 2.3 представлено приклад карти розміщення вимірювальних точок на третьому поверсі будівлі, створеної під час обходу. Скриншот демонструє, яку щільність покриття було досягнуто під час збору даних і як виглядає карта в режимі аналізу.

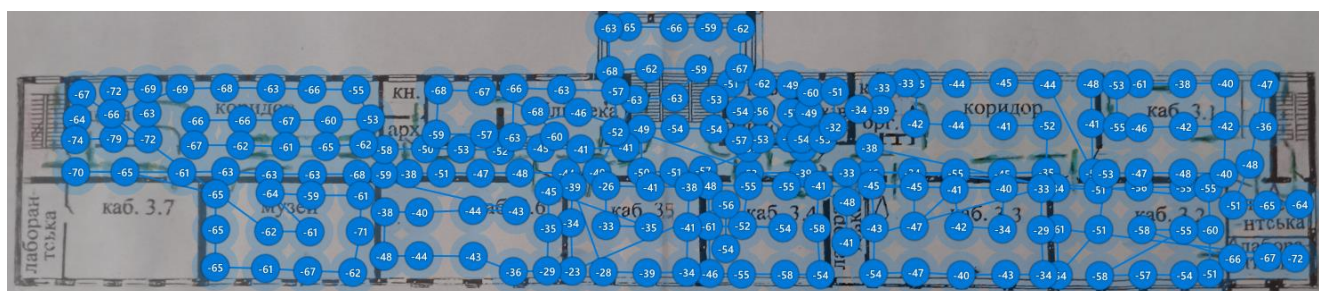


Рисунок 2.3 – Карта вимірювальних точок у режимі NetSpot Survey (3 поверх)

### 2.2.3 Побудова теплової карти покриття

Після завершення обходу приміщень результати вимірювань було оброблено в середовищі NetSpot, яке дозволяє візуалізувати стан бездротової мережі у вигляді теплових карт. Кожна з карт відображає окремий параметр мережі, що дозволяє провести комплексну оцінку якості покриття.

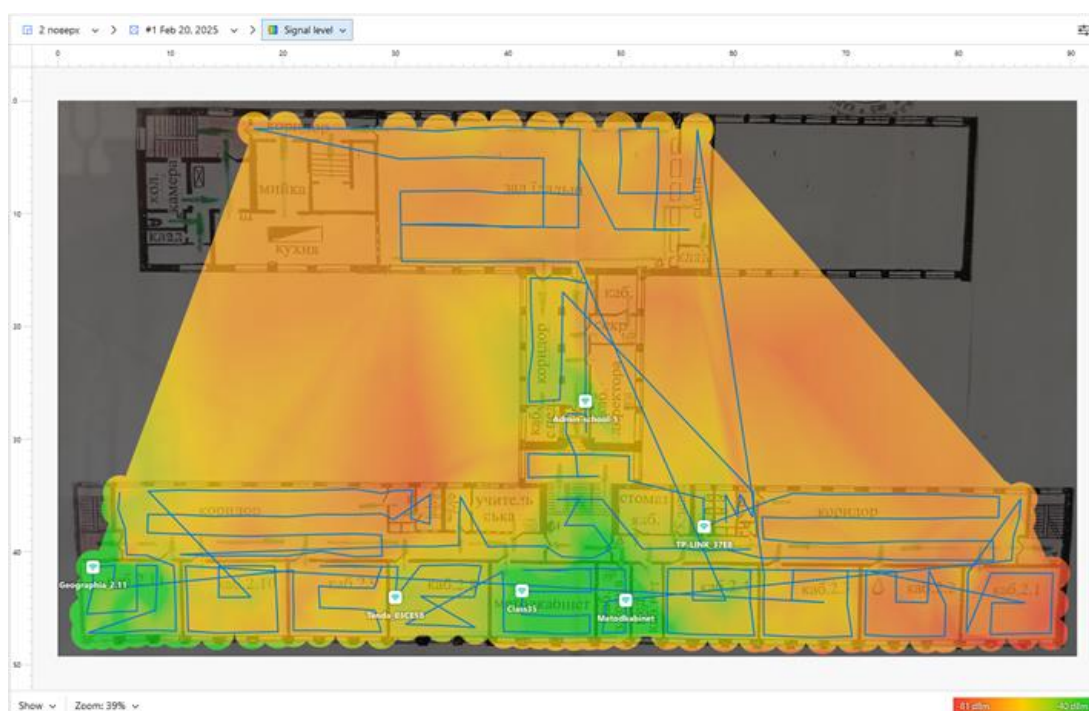


Рисунок 2.4 – Теплова карта рівня сигналу (2 поверх)

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		23



Результати побудови карт дозволили виявити критичні ділянки, що потребують оптимізації.

## 2.3 Опис наявної інфраструктури

### 2.3.1 Характеристика безпроводної мережі

На момент проведення дослідження в ліцеї функціонувала базова бездротова мережа, побудована з використанням близько 20 точок доступу. Більшість з них — побутового класу, встановлені у різні роки без єдиного проектного підходу. Маршрутизатори працюють переважно у діапазоні 2.4 ГГц та не підтримують автоматичну синхронізацію параметрів для реалізації безшовного роумінгу (Seamless Roaming). Окремі пристрої забезпечують мінімальний рівень керованості, що ускладнює централізоване адміністрування мережі.

Мережа не підтримує стандарти Wi-Fi 5 (802.11ac) чи Wi-Fi 6 (802.11ax), що значно обмежує її пропускну здатність та можливість обслуговувати велику кількість пристроїв. Частина маршрутизаторів має фіксовані канали, що спричиняє конфлікти та перешкоди. У таблиці 2.1 наведено загальну інформацію про використані пристрої та їхню функціональність.

Під час дослідження було виявлено низку серйозних проблем у роботі існуючої мережі. Зокрема, у зонах перетину сигналів з двох точок доступу пристрої користувачів могли постійно перемикатись між мережами, що призводило до частих розривів з'єднання.

В окремих випадках спостерігалось явище так званого 'залипання' пристроїв до точок доступу з низьким рівнем сигналу, навіть при наявності ближчої і сильнішої альтернативи. Крім того, були виявлені точки, які демонстрували високу проникаючу здатність сигналу, але водночас забезпечували дуже повільну швидкість передачі даних.

Відсутнє централізоване керування точками доступу. У ліцеї не ведеться реєстр IP-адрес і паролів до адміністративної панелі маршрутизаторів. Багато пристроїв працюють зі стандартними паролями і стоковими налаштуваннями. Усі ці фактори суттєво знижують надійність та безпеку мережі.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		25

Більшість точок доступу автоматично вибирають канали, що призводить до їхнього часткового або повного перекриття між собою. Це створює високий рівень інтерференції, особливо у діапазоні 2.4 ГГц, де доступно лише три непересічні канали.

**Таблиця 2.1 – Перелік маршрутизаторів, використаних у ліцеї**

Модель	Діапазони	Підтримка стандартів	Безшовний роумінг	VLAN	Макс. кількість клієнтів
<b>TP-Link TL-WR845N</b>	2.4 ГГц	802.11b/g/n	Hi	Hi	15
<b>TP-Link TL-WR841N</b>	2.4 ГГц	802.11b/g/n	Hi	Hi	10
<b>TP-Link TL-WR840N</b>	2.4 ГГц	802.11b/g/n	Hi	Hi	10
<b>Netis WF2409E</b>	2.4 ГГц	802.11b/g/n	Hi	Hi	12
<b>Netis WF2419E</b>	2.4 ГГц	802.11b/g/n	Hi	Hi	12
<b>TP-Link WR740N</b>	2.4 ГГц	802.11b/g/n	Hi	Hi	10

### 2.3.2 Топологія та принцип побудови

Існуюча мережева інфраструктура Калуського ліцею №5 реалізована за зіркоподібною топологією, що передбачає підключення всіх ключових вузлів до центрального комутатора TP-Link TL-SF1024D [17]. До нього під'єднано точки доступу, клієнтські пристрої, допоміжні комутатори та основний маршрутизатор TP-Link TL-WR841N [18], який забезпечує вихід у мережу Інтернет та базову маршрутизацію локального трафіку.

Як видно зі схеми на рисунку 2.6, у класах використовуються окремі комутатори D-Link DES-1016D [19], до яких підключено комп'ютери. Вони з'єднані з центральним комутатором за допомогою дротових каналів зв'язку. Уся система побудована за принципом фізичного розподілення підмереж із єдиним вузлом обробки та комутації.

Основний маршрутизатор TP-Link TL-WR841N виконує базові функції DHCP-сервера, NAT, маршрутизації та фільтрації трафіку. Однак, як представник сегменту SOHO-пристроїв початкового рівня, він має низку обмежень, зокрема не підтримує VLAN, гігабітні інтерфейси, централізоване керування або пріоритетизацію трафіку. Це обмежує його можливості при обслуговуванні мережі з великою кількістю користувачів і пристроїв.

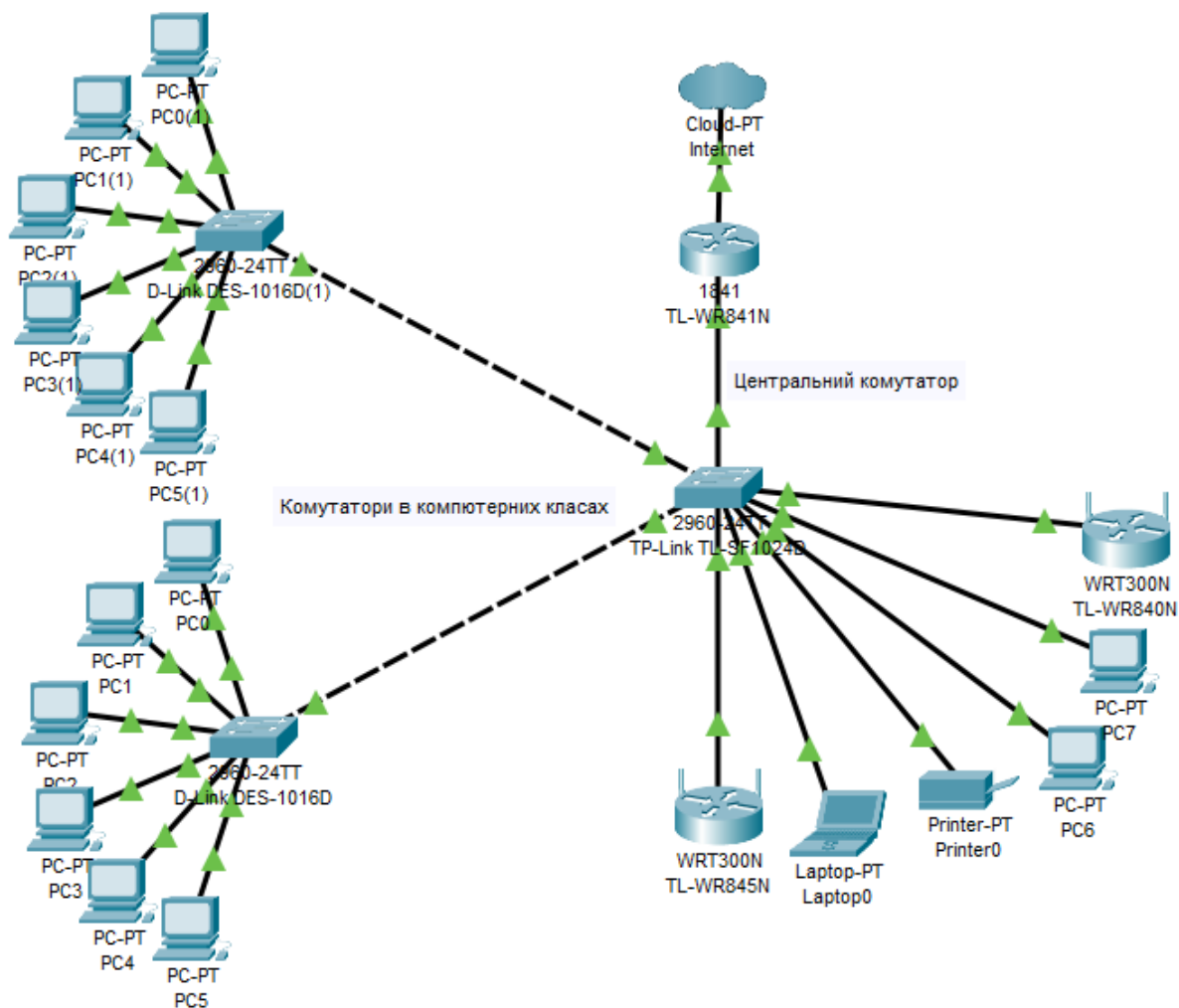


Рисунок 2.6 – Схема мережевої топології Калуського ліцею №5

Як зазначено в таблиці 2.1 (див. підпункт 2.3.1), більшість встановлених точок доступу не підтримують стандарти Wi-Fi 5 (802.11ac) або Wi-Fi 6 (802.11ax), не інтегруються в систему централізованого керування та не забезпечують можливості безшовного роумінгу. Кожна точка функціонує автономно, що призводить до нестабільності сигналу у зонах перекриття, ускладнює адміністрування та масштабування мережі.

Наявність Fast Ethernet-комутаторів, статична схема призначення IP-адрес, відсутність пріоритизації трафіку, неможливість балансування навантаження між точками доступу, конфлікти радіоканалів та обмежена пропускну здатність загалом негативно впливають на ефективність роботи мережі та потребують комплексного вдосконалення. У таблиці 2.2 представлено перелік основного мережевого обладнання, яке на даний момент використовується у ліцеї. Детальні технічні характеристики пристроїв наведено в Додатку Г (табл. Г.1–Г.3).

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		27

**Таблиця 2.2 – Основні мережеві пристрої (маршрутизатор і комутатори), використані у ліцеї**

Тип обладнання	Модель	Кількість	Примітка
Маршрутизатор (шлюз)	TP-Link TL-WR841N	1	4×LAN 100 Мбіт/с, NAT, DHCP
Комутатор центральний	TP-Link TL-SF1024D	1	24×100 Мбіт/с
Комутатор у класі	D-Link DES-1016D	2	16×100 Мбіт/с

## 2.4 Аналіз результатів та виявлення проблемних зон

### 2.4.1 Карта рівня сигналу Wi-Fi

На Рисунку 2.7 представлено теплову карту покриття рівня сигналу (RSSI) у приміщеннях ліцею. Зелені області відповідають високому рівню сигналу (від –30 дБм до –60 дБм), жовті — сигналу середньої якості (–60 дБм до –75 дБм), а червоні — зонам поганого або нестабільного покриття (нижче –75 дБм). Виявлено, що більшість класів забезпечені стабільним сигналом, однак у кінцях коридорів та окремих кутах кабінетів спостерігається суттєве зниження якості сигналу.



Рисунок 2.7 – Карта рівня сигналу

### 2.4.2 Співвідношення сигнал/шум (SNR)

На Рисунку 2.8 відображено карту співвідношення сигнал/шум (Signal-to-Noise Ratio). Показник SNR є критичним для забезпечення стабільної роботи бездротової мережі: значення понад 20 дБ вважається задовільним, понад 30 дБ —

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

хорошим. У більшості приміщень SNR знаходився на рівні 25–35 дБ, що свідчить про прийнятну якість зв'язку. У деяких точках поблизу джерел електромагнітних завад спостерігались короткочасні зниження SNR до 15 дБ.



Рисунок 2.8 – Карта співвідношення сигнал/шум

### 2.4.3 Перекриття каналів Wi-Fi

Аналіз карти перекриття каналів на Рисунку 2.9 виявив, що більшість точок доступу працюють у стандартному діапазоні 2.4 ГГц, часто з однаковими або перекриваючимися каналами (1, 6, 11). Це створює міжканальні інтерференції, що можуть негативно впливати на якість сигналу у зонах накладання. Для оптимізації рекомендується перерозподілити канали вручну або реалізувати автоматичне керування через централізований контролер.



Рисунок 2.9 – Карта перекриття каналів

						БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат			29

## 2.4.4 Швидкість передачі та прийому

На Рисунках 2.10 та в додатку А (рис. А.29) наведено теплові карти швидкості прийому та передачі даних. Відзначено значну варіативність у швидкості — від 10 до 60 Мбіт/с. Найкращі показники спостерігались у безпосередній близькості до точок доступу. Водночас у віддалених куточках або через кілька стін швидкість значно знижувалась.

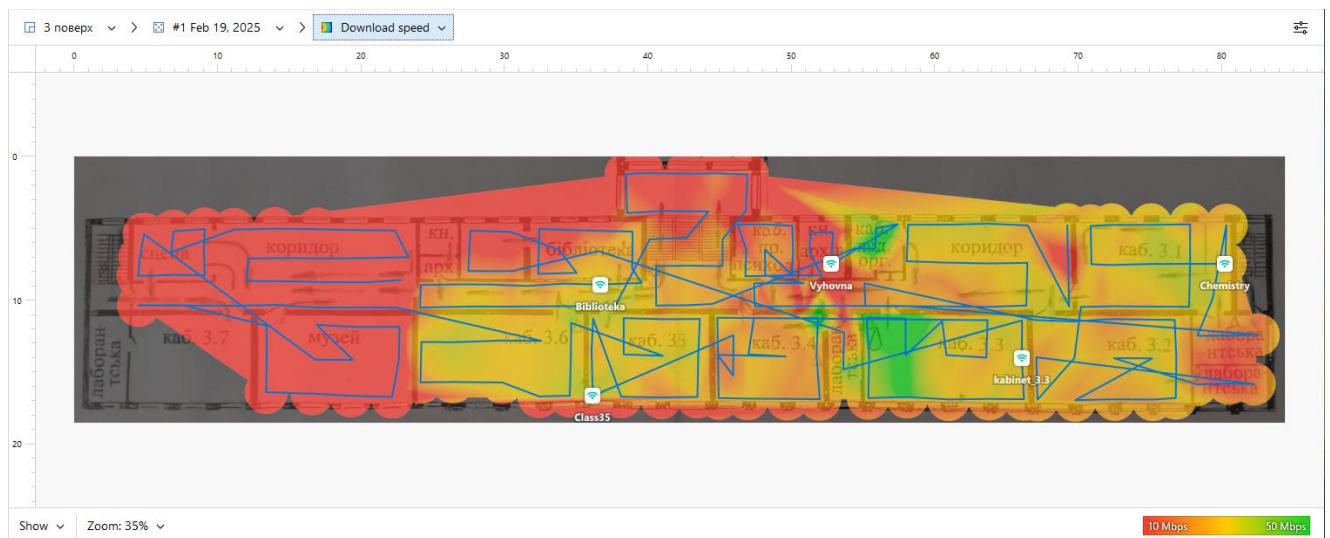


Рисунок 2.10 – Швидкість прийому

## 2.5 Обмеження та похибки дослідження

Під час проведення практичного етапу дослідження були виявлені ряд обмежень, які певною мірою могли вплинути на повноту та точність результатів аналізу бездротової мережі Калуського ліцею №5. Ці чинники важливо враховувати при інтерпретації отриманих даних та формуванні висновків.

По-перше, усі вимірювання виконувалися у період карантинних обмежень, коли присутність користувачів у приміщеннях ліцею була мінімальною. У зв'язку з цим реальне навантаження на бездротову мережу значно відрізнялось від типового під час навчального процесу. Це вплинуло на точність карти співвідношення сигнал/шум, оскільки рівень навколишніх перешкод (інтерференції) був заниженим через відсутність одночасно підключених клієнтів, а також неактивність Bluetooth-пристроїв, смартфонів, планшетів тощо. Як

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

наслідок, показники SNR можуть бути вищими, ніж у реальних умовах експлуатації.

По-друге, в перші дні обстеження не всі точки доступу були авторизовані для підключення до них вимірювального пристрою, оскільки частина обладнання мала змінені або невідомі паролі адміністратора. Відповідно, побудовані карти швидкості мають фрагменти без результатів або з нульовими значеннями, що не відображають реального потенціалу покриття.

Крім того, вимірювання проводилися протягом кількох днів у різний час доби, і частина точок доступу або маршрутизаторів могла бути тимчасово вимкнена. Це могло спричинити локальні провали в рівні сигналу на відповідних картах покриття. Зони, у яких відсутній сигнал на карті, не завжди свідчать про погане покриття — у деяких випадках сигнал міг бути недоступним лише на момент фіксації.

Також слід зазначити, що вимірювання виконувались вручну одним користувачем за допомогою ноутбука Acer Aspire 3 A315-58-553J. Через обмеження кута тримання пристрою, маршруту проходження та конструктивні особливості приймача Wi-Fi результати могли мати варіативність у межах кількох децибел. Це, зокрема, могло вплинути на точність побудови теплових карт на межі зон покриття.

Незважаючи на описані похибки, отримані результати є достатніми для побудови узагальненої картини стану існуючої бездротової інфраструктури ліцею та подальшого зіставлення з результатами моделювання оптимізованої топології, представленої в наступному розділі.

## 2.6 Узагальнення результатів

У результаті проведеного дослідження встановлено, що бездротова мережа Калуського ліцею №5 забезпечує базове покриття, якого загалом достатньо для виконання повсякденних завдань у навчальному процесі. Рівень сигналу у більшості аудиторій та коридорів знаходиться на прийнятному рівні, однак в окремих віддалених приміщеннях або зонах з архітектурними перешкодами

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

спостерігається помітне зниження якості сигналу. Також виявлено наявність перекриття каналів у діапазоні 2.4 ГГц, що створює міжканальні інтерференції та може впливати на стабільність роботи бездротової мережі. Аналіз теплових карт швидкості показав нерівномірний розподіл пропускної здатності: у безпосередній близькості до точок доступу спостерігались високі швидкості, тоді як у периферійних зонах вони значно знижувались. Частина точок доступу могла бути вимкненою під час обстеження, що відобразилося як відсутність сигналу на частині карт.

Водночас, дослідження мало певні обмеження. Зокрема, вимірювання виконувались у період карантину, коли фактичне навантаження на мережу було мінімальним, що унеможливорює повноцінну оцінку стабільності з'єднання в умовах одночасного використання великою кількістю користувачів. У перші дні проведення вимірювань не було доступу до всіх точок доступу через відсутність паролів, тому карта швидкостей не охоплює всю інфраструктуру. Крім того, вимірювання проводились протягом кількох днів, і частина маршрутизаторів могла бути тимчасово вимкненою, що вплинуло на повноту карти покриття.

Для підвищення точності та об'єктивності подальших обстежень варто проводити вимірювання у робочі дні, за умови доступу до всіх точок доступу та використання однорідного обладнання протягом усього процесу. Також доцільним є залучення додаткових пристроїв із ширшим діапазоном підтримки частот та інструментів для виявлення джерел зовнішніх завад. Усі ці дії дозволять отримати комплексніші результати та глибше оцінити реальний стан бездротової інфраструктури навчального закладу.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

## 3 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ WI-FI МЕРЕЖІ

### 3.1 Мета моделювання

Проведений аналіз наявної бездротової мережі Калуського ліцею №5 показав, що хоча мережа виконує базові функції доступу до Інтернету, вона не відповідає сучасним вимогам до надійності, швидкодії та масштабованості. В умовах інтенсивної цифровізації освітнього процесу, підключення учнів до хмарних платформ, відеоуроків, електронних щоденників, а також роботи персоналу через внутрішні сервіси, зростають вимоги до якості бездротового покриття.

У ліцеї навчається близько 700 учнів та працює орієнтовно 50–60 співробітників, з яких частина активно використовує Wi-Fi для ведення документації, адміністративних завдань та проведення уроків. У пікові години (під час перерв, перед початком занять або після них) в мережі можуть одночасно перебувати понад 300 пристроїв, включаючи смартфони, планшети, ноутбуки. Така кількість підключень створює серйозне навантаження на обладнання, особливо за умови використання побутових маршрутизаторів, не розрахованих на велику кількість одночасних підключень.

Метою моделювання є створення покращеної конфігурації Wi-Fi мережі, яка б забезпечувала рівномірне покриття всіх навчальних приміщень, адміністративних зон, укриттів та загальних просторів із гарантованою якістю сигналу, швидкістю передачі та здатністю витримувати навантаження. У результаті оптимізації мережа має відповідати наступним умовам: стабільне покриття в кожному навчальному кабінеті; підтримка одночасного підключення щонайменше 30 пристроїв до однієї точки доступу без помітного зниження швидкості; безпечне розділення мережі на сегменти для учнів, персоналу та гостьового доступу; можливість масштабування та централізованого моніторингу;

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

підтримка сучасних стандартів безпеки та сумісність із наявною дротовою інфраструктурою.

Серед актуальних рішень для розгортання мереж в освітніх установах пропонуються підходи, що базуються на керованій архітектурі з підтримкою VLAN, резервуванням з'єднань, централізованим керуванням мережею через контролер та використанням обладнання з підтримкою Wi-Fi 6. Такі моделі дають змогу адаптувати мережу під змінні умови навантаження та потреби навчального закладу [20].

Забезпечення стабільної бездротової мережі в сучасному навчальному закладі є одним із базових факторів для реалізації цифрових методів навчання. Інтерактивні освітні платформи, онлайн-курси, електронні підручники та сервіси для дистанційної роботи з учнями потребують постійного доступу до Інтернету. Без якісної мережі неможливо забезпечити рівні можливості для всіх учасників освітнього процесу, особливо в умовах сучасних викликів, таких як дистанційне або змішане навчання.

## **3.2 Підготовка плану приміщень для віртуального моделювання**

### **3.2.1 Підготовка графічних матеріалів**

Для моделювання бездротового покриття в навчальному закладі було підготовлено плани всіх трьох поверхів будівлі Калуського ліцею №5. Як вихідні дані використовувались скановані технічні креслення поверхів, які були попередньо оброблені: видалено зайві елементи, випрямлено викривлення, обрізано краї. Кожен план збережено у форматі PNG у високій роздільній здатності.

У програмі NetSpot кожен план потребує налаштування масштабу. Процедура калібрування виконувалась аналогічно до калібрування карти при обстеженні в режимі Survey.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

### 3.2.2 Побудова елементів конструкції

Після встановлення масштабу виконувалось нанесення архітектурних елементів будівлі: зовнішніх стін, внутрішніх перегородок, вікон та дверей. Для кожного елемента вказувався тип матеріалу, а також параметри поглинання та відбиття сигналу, які використовуються програмою NetSpot для коректного розрахунку поширення хвиль та надані у таблиці 3.1. Проміжна версія плану зображена на рисунку 3.1.

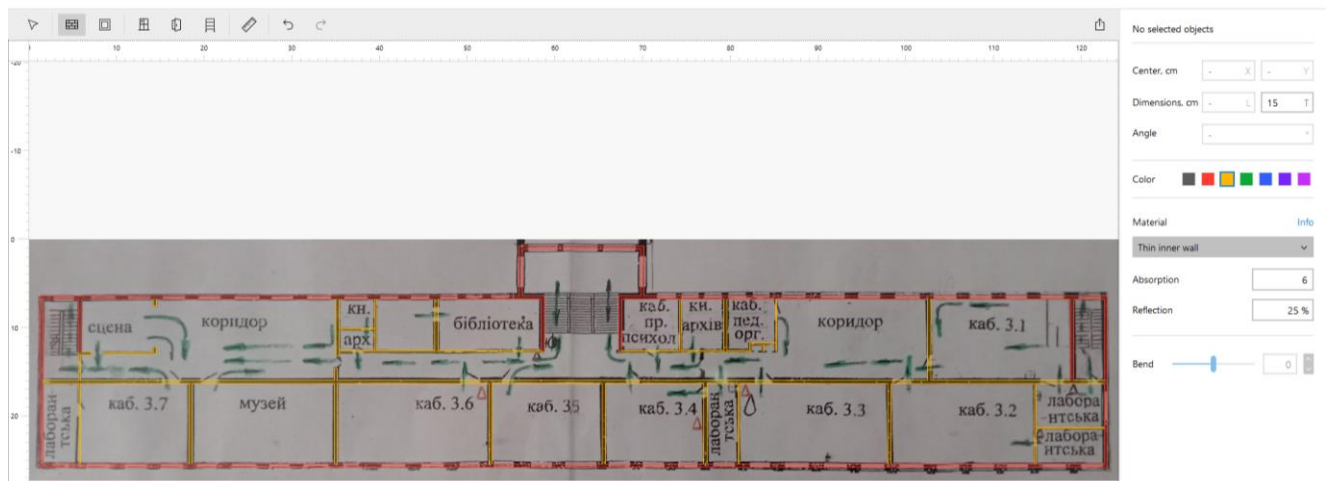


Рисунок 3.1 – Побудова конструкційних елементів на плані

На фінальному етапі були додані вікна та двері, після чого план був повністю готовий до подальшого моделювання Wi-Fi покриття, як зображено на рисунку 3.2.

**Таблиця 3.1 – Параметри елементів конструкції для моделювання приміщень**

Тип елемента	Матеріал	Поглинання (дБ)	Відбиття (%)
Несуча стіна	Бетон	14	30
Внутрішня перегородка	Цегла	6	25
Внутрішня перегородка	Гіпсокартон	4	15
Двері	Дерево	1	10
Двері	Метал	7	60
Вікно	Скло	1	15

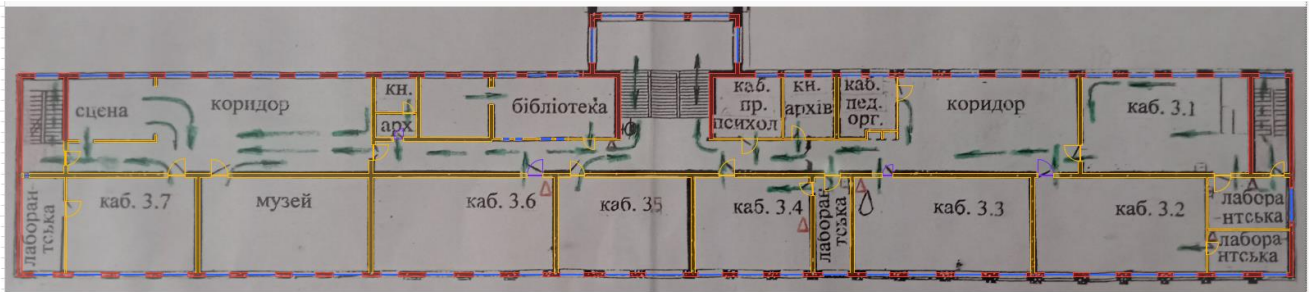


Рисунок 3.2 – Остаточна карта з нанесеними вікнами та дверима

### 3.3 Розширення мережі на територію ліцею

#### 3.3.1 Обґрунтування необхідності зовнішнього покриття

У межах оптимізації бездротової мережі в Калуському ліцеї №5 виникла необхідність забезпечити якісне покриття Wi-Fi не лише всередині будівлі, але й на прилеглий території закладу. Це обумовлено як сучасними тенденціями цифровізації освіти, так і практичними потребами учнів, вчителів та технічного персоналу.

Розширення покриття за межі приміщень дозволить використовувати мережу під час проведення шкільних заходів на відкритому повітрі, у внутрішньому дворі, поблизу центрального входу, а також на території стадіону. Учні та працівники зможуть залишатися на зв'язку з електронними платформами, зокрема електронними щоденниками, хмарними сервісами та системами внутрішнього спілкування.

Окрему увагу слід приділити потребі у доступі до мережі біля входів до укриттів. У випадку тривалого перебування там, можливість підключення до мережі дозволяє підтримувати зв'язок, здійснювати адміністративні дії або продовжувати освітній процес у змішаному форматі.

Відсутність стабільного зовнішнього покриття створює ризик втрати доступу до цифрових сервісів у критичних ситуаціях або при переміщенні між корпусом і зовнішніми локаціями. Натомість впровадження точок доступу на відкритих ділянках дозволяє не лише підвищити мобільність користувачів, але й зменшити навантаження на внутрішні точки доступу шляхом балансування трафіку.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

Загалом, зовнішнє покриття слід розглядати як невід’ємну частину інфраструктури безпечного, адаптивного та технологічного освітнього середовища сучасного ліцею.

### 3.3.2 Методика моделювання зовнішнього покриття в NetSpot

Для моделювання покриття Wi-Fi на території, прилеглої до ліцею, було використано режим віртуального планування (Predictive Survey) у програмному забезпеченні NetSpot. У якості основи для побудови карти місцевості було обрано супутниковий знімок подвір’я ліцею, отриманий за допомогою сервісу Google Earth [21]. Цей знімок забезпечує достатню деталізацію території та дозволяє орієнтуватись у межах реального розміщення будівлі та зон, важливих для покриття бездротовим сигналом.

Для забезпечення коректного урахування впливу самої будівлі ліцею на поширення сигналу, на супутниковий знімок було накладено план першого поверху будівлі. Це дозволило змодельовати ефект екранування та поглинання сигналу стінами при поширенні хвиль у напрямку зовнішніх зон, зокрема внутрішнього подвір’я та території стадіону. Важливо підкреслити, що окрім будівлі ліцею, на досліджуваній ділянці відсутні інші істотні архітектурні перешкоди, які б суттєво впливали на розповсюдження радіосигналу. Через це до моделі було додано лише контур самої будівлі, без деталізації зелених насаджень, огорож або незначних малих архітектурних форм.

Калібрування масштабу супутникового плану виконувалось шляхом вимірювання відомих відстаней на місцевості, зокрема довжини будівлі, яка складала приблизно 80 метрів. Це дозволило точно встановити відповідність між пікселями зображення та фізичними розмірами території.

Після калібрування план був збережений як основа для моделювання. На рисунку 3.3 зображено підготовлений графічний план подвір’я з нанесеним контуром будівлі ліцею, який був використаний для подальшої розробки топології зовнішнього покриття.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

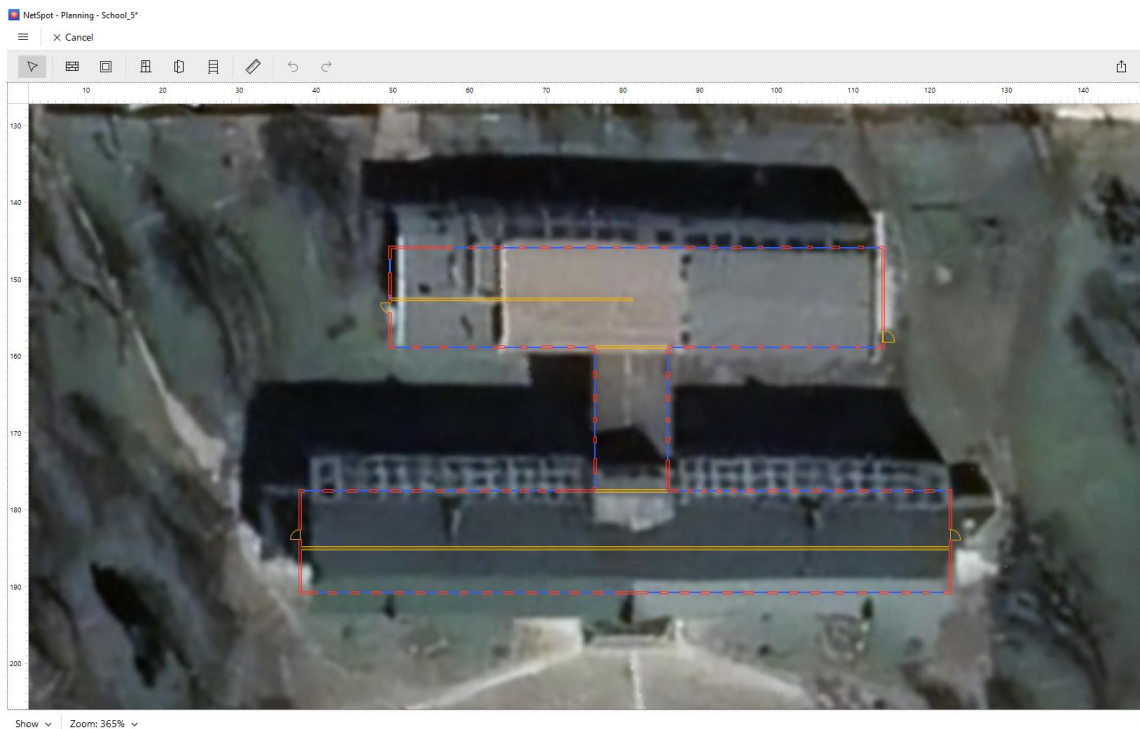


Рисунок 3.3 – План території ліцею для моделювання зовнішнього покриття у NetSpot

### 3.4 Вибір обладнання для модернізації мережі

#### 3.4.1 Критерії вибору точок доступу для шкільної мережі

Для забезпечення стабільної роботи Wi-Fi мережі в умовах навчального закладу необхідно ретельно підійти до вибору точок доступу. Оскільки на бездротову мережу лягає значне навантаження — одночасне підключення десятків, а іноді й сотень пристроїв, — обладнання має відповідати не лише технічним характеристикам, але й специфіці освітнього середовища. Одним з ключових параметрів є максимальна кількість клієнтів, яких точка доступу може обслуговувати без істотного зниження швидкості. Для класів, де одночасно можуть підключатись до 25–30 пристроїв, рекомендовано використовувати точки доступу з підтримкою не менше ніж 50 одночасних з'єднань.

Важливою є також підтримка двох частотних діапазонів — 2.4 ГГц та 5 ГГц. Перший забезпечує ширше покриття, другий — вищу швидкість. Оптимальним

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

варіантом буде використання двохдіапазонних точок доступу з підтримкою Wi-Fi 5 або Wi-Fi 6.

Не менш важливим є тип монтажу. Для рівномірного покриття рекомендовано використовувати моделі з кріпленням на стелю або високо на стіну. Ще одним критичним аспектом є підтримка VLAN для розділення мереж, а також наявність централізованого або хмарного керування, підтримка MU-MIMO, Beamforming та WPA3.

### 3.4.2 Загальна архітектура мережі

У межах проекту оптимізації бездротової мережі в Калуському ліцеї №5 передбачено побудову архітектури, яка відповідатиме сучасним вимогам до надійності, масштабованості та безпеки. Проектна інфраструктура передбачає реалізацію функціональних рівнів: рівня доступу, агрегації та ядра (останній може бути умовно спрощений до логічного компонента).

На рівні доступу передбачається встановлення точок бездротового доступу, які забезпечуватимуть підключення користувачів (учнів і персоналу) до мережі. Кожна точка буде під'єднана до найближчого PoE-комутатора, що слугуватиме одночасно джерелом живлення через Power over Ethernet та точкою підключення до дротової мережі.

Для агрегації трафіку з різних поверхів передбачається використання центрального PoE-комутатора з підвищеним бюджетом живлення та кількістю портів. До нього підключатимуться комутатори з поверхів, тим самим формуючи ієрархічну структуру з розгалуженою топологією.

Роль шлюзу до Інтернету виконуватиме маршрутизатор із підтримкою кількох WAN-підключень, VLAN, VPN і можливістю централізованого керування. Керування всією мережею здійснюватиметься через спеціалізований мережевий контролер, який надає засоби моніторингу, налаштування та автоматизації через SDN-платформу.

Проектна мережа підтримуватиме трансляцію кількох віртуальних мереж (SSID із VLAN), ізоляцію користувачів, налаштування гостьового доступу та

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

пріоритезацію трафіку. Архітектура дозволяє масштабувати мережу в майбутньому без радикальних змін інфраструктури.

На рисунку 3.4 подано логічну схему топології запропонованої мережі.

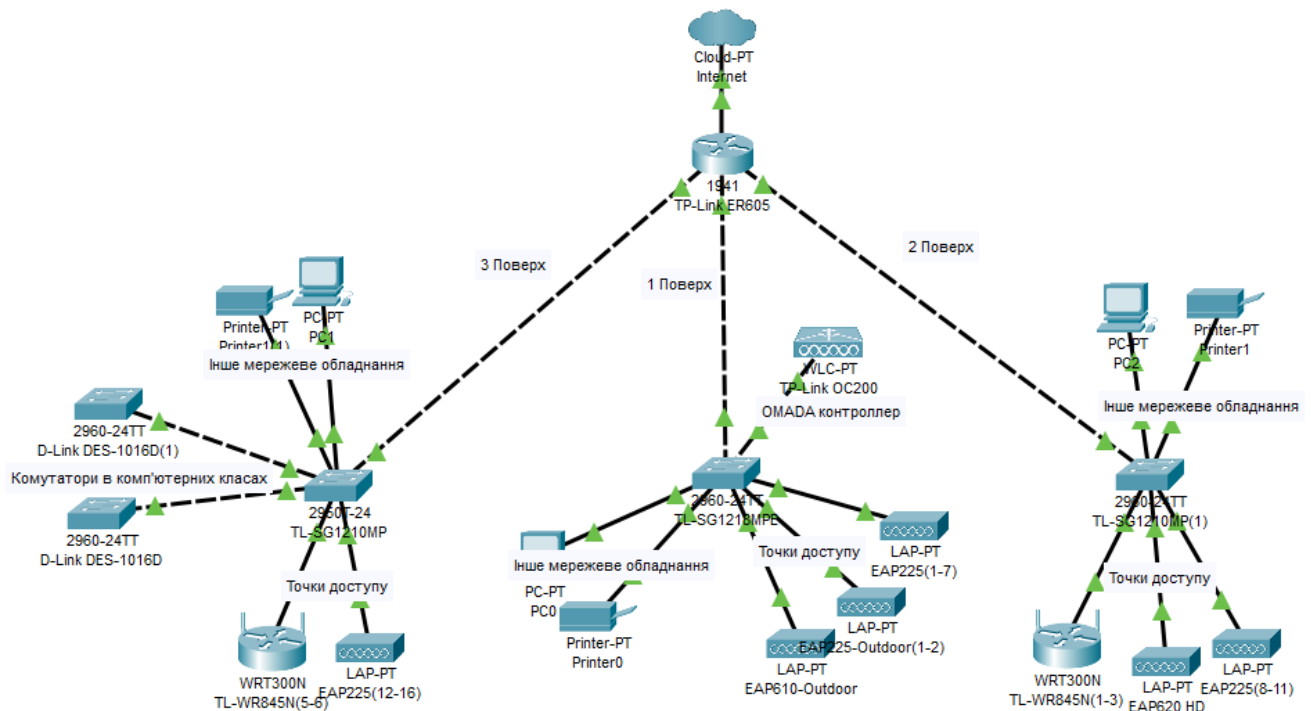


Рисунок 3.4 – Топологія запропонованої Wi-Fi мережі

### 3.4.3 Мережеве обладнання

Для забезпечення стабільної роботи Wi-Fi мережі в умовах навчального закладу, а також з метою централізованого управління, розширення й підтримки декількох віртуальних мереж (VLAN), було підібрано відповідне мережеве обладнання на базі рішень TP-Link Omada. Вибір базувався на доступності пристроїв, їхній сумісності, продуктивності, а також рекомендаціях TP-Link щодо впровадження мереж у навчальних установах.

Основу бездротової інфраструктури складають точки доступу моделей EAP225 V5 [22], EAP620 HD V2 [23], EAP225-Outdoor V3 [24] та EAP610-Outdoor V1.20 [25], які зображені на рисунку 3.5. Усі вони підтримують трансляцію двох SSID (з VLAN 10 для учнів та VLAN 20 для персоналу), працюють у керованій архітектурі SDN та можуть бути централізовано налаштовані через Omada

Controller. Детальні технічні характеристики вказаних точок доступу наведено в таблицях Г.4–Г.7 (Додаток Г).



Рисунок 3.5 – Точки доступу використані в безпроводній мережі

Живлення точок доступу здійснюється за технологією PoE, що дозволяє спростити розгортання бездротової мережі та уникнути потреби в додаткових блоках живлення. Для цього використано комутатори TP-Link TL-SG1210MP [26] та TL-SG1218MPE [27], зображені на рисунку 3.6 з відповідним PoE-бюджетом, характеристики яких наведено в в Додатку Г (табл. Г.8–Г.9).



Рисунок 3.6 – Комутатори TP-Link TL-SG1210MP та TL-SG1218MPE

Ключову роль у маршрутизації трафіку між локальними сегментами VLAN, а також у забезпеченні доступу до Інтернету виконує маршрутизатор TP-Link ER605 [28], зображений на рисунку 3.7. Використання окремого апаратного маршрутизатора дозволяє розвантажити інші пристрої мережі, делегувавши йому

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

функції NAT, міжмережевого фільтрування, VPN та DHCP. ER605 також підтримує централізоване керування через контролер Omada та може обслуговувати кілька WAN-підключень, забезпечуючи відмовостійкість і резервування доступу в Інтернет — що є важливим для стабільної роботи в навчальному закладі. Технічні характеристики маршрутизатора наведено в Додатку Г (табл. Г.10).



Рисунок 3.7 – Маршрутизатор TP-Link ER605

Для управління всією інфраструктурою Omada SDN використовується апаратний контролер TP-Link OC200 [29], зображений на рисунку 3.8. Обраний варіант апаратного контролера є оптимальним у порівнянні з хмарним рішенням або встановленням програмного контролера на окремому сервері. На відміну від хмарного керування, OC200 працює локально, не потребує постійного підключення до зовнішніх сервісів і забезпечує повний контроль навіть за відсутності інтернет-з'єднання. У порівнянні з серверним варіантом, OC200 має низьке енергоспоживання, компактні розміри, не потребує обслуговування ОС і легко монтується в слаботочних шафах. Це робить його ідеальним вибором для шкіл і закладів освіти, де потрібне стабільне, але просте в адмініструванні рішення. Технічні характеристики контролера наведено в Додатку Г (табл. Г.11).



Рисунок 3.8 – Апаратний Omada контролер TP-Link OC200

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		42

В таблиці 3.2 подано перелік використаного обладнання з короткими характеристиками та зонами його використання.

**Таблиця 3.2 – Перелік мережевого обладнання та його призначення**

Тип обладнання	Модель пристрою	Характеристики (стисло)	Кількість	Зона використання
Точка доступу (внутрішня)	TP-Link EAP225 V5	Wi-Fi 5, 2×2 MU-MIMO, 867 + 300 Mbps, VLAN, Omada SDN	15	Навчальні кабінети
Точка доступу (висока щільність)	TP-Link EAP620 HD V2	Wi-Fi 6, 4×4 MU-MIMO, до 1200 клієнтів, Omada SDN	1	Їдальня
Точка доступу (зовнішня)	TP-Link EAP225-Outdoor V3	Wi-Fi 5, захист IP65, 867 + 300 Mbps	2	Стадіон
Точка доступу (зовнішня Wi-Fi 6)	TP-Link EAP610-Outdoor V1.20	Wi-Fi 6, захист IP67, 1201 + 574 Mbps	1	Двір, вхід до школи
РоЕ-комутатор	TP-Link TL-SG1210MP	10 портів, 8×PoE+, бюджет 130W	2	Поверхи з до 8 точками доступу
РоЕ-комутатор	TP-Link TL-SG1218MPE	18 портів, 16×PoE+, бюджет 250W	1	Перший поверх
Маршрутизатор	TP-Link ER605	Gigabit, підтримка до 4 WAN, VLAN, VPN, Omada SDN	1	Шлюз до інтернету
Контролер	TP-Link OC200	Omada Hardware Controller, до 100 точок, до 1000 клієнтів	1	Серверна / адм. приміщення

### 3.5 Віртуальне моделювання покриття

#### 3.5.1 Розміщення точок доступу на 1 поверсі

План розміщення точок доступу на першому поверсі Калуського ліцею №5 представлено на рисунку 3.9. Моделювання виконано з урахуванням плану будівлі, функціонального призначення приміщень та розрахунку зони покриття відповідно до характеристик пристроїв, вказаних у таблиці 3.3.

У класах 1.6, 1.4 та 1.1 встановлено точки TP-Link EAP225 з однаковою конфігурацією VLAN 10/20, які транслюють мережі для учнів та персоналу. Розташування точок у центрі аудиторій дозволяє охопити також суміжні зони коридору, де спостерігається активне пересування учнів.

У класах 1.5 та 1.3 точки встановлено симетрично до згаданих, з каналами, які не перетинаються між собою в межах поверху. Це дозволяє уникнути перекриття каналів і забезпечити стабільність роботи при великій кількості підключень.

Окрема точка TP-Link EAP225 встановлена в кабінеті 1.10, який є одним із найбільших приміщень поверху. Вона забезпечує покриття також у суміжному коридорі та зоні роздягальні, що є стратегічно важливою зоною з високим рівнем мобільності користувачів.

У спортивному залі встановлено ще одну точку TP-Link EAP225 з підвищеною потужністю, що дозволяє охопити велике приміщення з високими стелями та мінімальною кількістю перешкод. Враховано відображення сигналу від стін і покриття всієї активної площі залу.

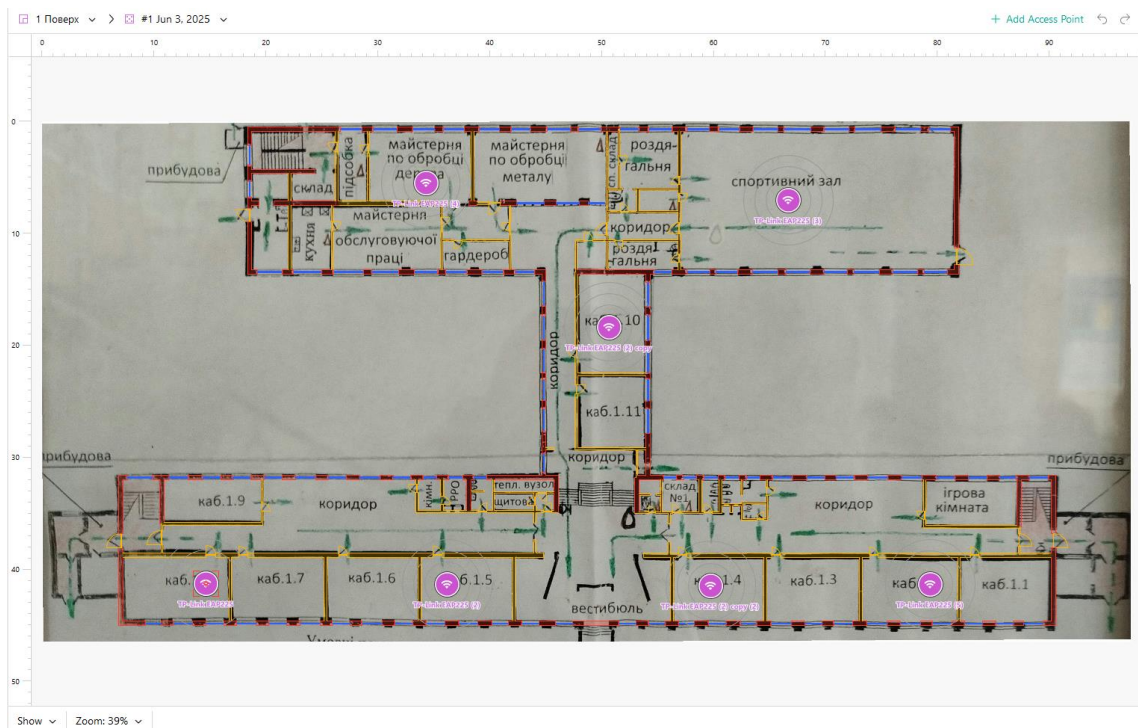


Рисунок 3.9 – Розміщення точок доступу на 1 поверсі (моделювання в NetSpot)

Конфігурація всіх точок моделювання включає поділ мережі за VLAN (10 — для учнів, 20 — для персоналу), стандартні канали з мінімальним конфліктом, а також потужність у межах 20 dBm. Детальні параметри наведено в таблиці 3.3 нижче.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		



У навчальних кабінетах 2.1, 2.4, 2.9 та 2.11 встановлено точки TP-Link EAP225, які забезпечують основне покриття для учнів і персоналу. Усі точки працюють у двох діапазонах, транслюють два SSID (Liceum-Student, Liceum-Staff) і підтримують VLAN 10/20. Розміщення точок — по центру кабінетів — дозволяє покрити суміжні коридори та частково інші аудиторії завдяки відкритому плануванню й тонким міжкімнатним перегородкам.

У залі їдальні встановлено точку TP-Link EAP620 HD з підтримкою Wi-Fi 6, що дозволяє ефективно обслуговувати велику кількість одночасних підключень. Це приміщення є однією з найбільш навантажених зон у години обіду, тож модель з підтримкою MU-MIMO та широким каналом 40 МГц у 2.4 ГГц є обґрунтованим вибором.

Додатково, у методичному кабінеті та кабінеті директора змодельовано використання точок TP-Link WR845N. Ці пристрої транслюють лише один SSID для VLAN 20 (персонал), працюють у діапазоні 2.4 ГГц і застосовуються як економічне рішення для малонавантажених адміністративних зон.

**Таблиця 3.4 – Параметри точок доступу, використаних на 2 поверсі**

Модель	Розміщення	SSID	VLAN	Канал 2.4 ГГц	Канал 5 ГГц	Потужність 2.4 ГГц	Потужність 5 ГГц
TP-Link EAP225	Кабінет 2.11	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	6	36	20	20
TP-Link EAP225	Кабінет 2.9	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	11	40	20	20
TP-Link EAP225	Кабінет 2.4	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	6	44	20	20
TP-Link EAP225	Кабінет 2.1	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	11	48	20	20
TP-Link AX1800 EAP620 HD	Зал їдальні	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	1	48	20	22
TP-Link WR845N	Каб. директора	Liceum-Staff	20	11	-	16	-
TP-Link WR845N	Метод. кабінет	Liceum-Staff	20	1	-	16	-

Обрана конфігурація забезпечує ефективне покриття всіх функціональних зон поверху та дозволяє балансувати навантаження між сучасними та наявними пристроями.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

### 3.5.3 Розміщення точок доступу на 3 поверсі

На рисунку 3.11 представлено схему розміщення точок доступу на третьому поверсі ліцею, яка була змодельована за допомогою режиму Predictive Survey у програмі NetSpot. Розміщення точок здійснювалося на основі призначення приміщень, їхніх розмірів, а також конструктивних особливостей поверху. Для моделювання використовувались точки доступу, перелічені в таблиці 3.5, з налаштуваннями, які відображають реальні сценарії експлуатації.

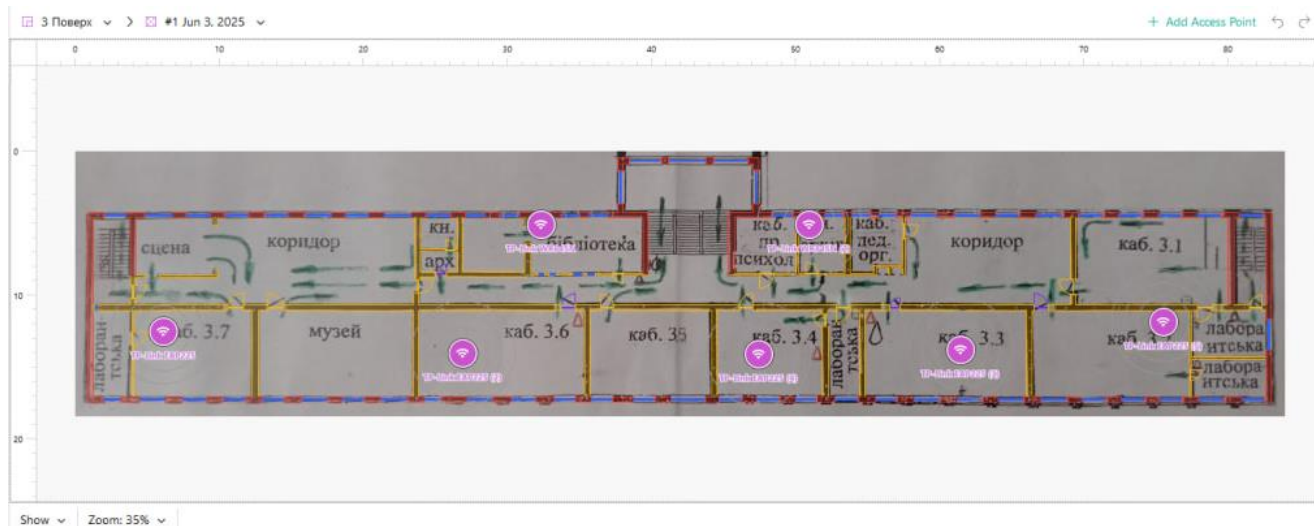


Рисунок 3.11 – Схема розміщення точок доступу на третьому поверсі (моделювання в NetSpot)

У кабінетах 3.3 та 3.6, які є навчальними комп'ютерними класами, передбачено інтенсивне використання мережі великою кількістю клієнтів одночасно. У цих приміщеннях змодельовано точки доступу TP-Link EAP225 з високою потужністю сигналу в обох діапазонах (2.4 і 5 ГГц), встановлені по центру для досягнення рівномірного покриття. Враховуючи необхідність стабільного та швидкісного з'єднання, обрано канали з мінімальним ризиком перекриття.

Кабінети 3.2 та 3.7 розміщені у крайніх секціях поверху, тому точки доступу в них виконують не лише функцію локального покриття, а й розширення зони сигналу на сусідні приміщення та частини коридору. Розміщення точок у центральній частині аудиторій забезпечує ефективне охоплення як внутрішнього простору, так і сусідніх зон, зокрема сцени та музею (каб. 3.7) або підсобного

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

кабінету біля каб. 3.2. Використано однакову модель EAP225 з каналами 11 (2.4 ГГц) та 36 (5 ГГц).

У кабінеті 3.4, розташованому в центральній частині поверху, інші точки доступу не забезпечували достатнього рівня сигналу. Тому в цьому кабінеті було змодельовано ще одну точку TP-Link EAP225 з потужністю, достатньою для покриття як самого приміщення, так і частини коридору перед ним. Розміщення у цій точці дозволяє уникнути утворення "мертвої зони" в центрі поверху.

Для бібліотеки та книжкового архіву, розташованих у правому крилі від кабінету психолога, було змодельовано використання старих точок доступу TP-Link WR845N. Ці пристрої транслують лише один SSID для VLAN 20 (мережа персоналу), працюють у діапазоні 2.4 ГГц і призначені для обслуговування адміністративного персоналу. Їхня низька вартість і достатня для працівників кількість підключень робить їх доцільним вибором для таких приміщень. Також для зменшення перекриття мереж 2.4ГГц було знижено потужність радіомодуля до 16 dBm

**Таблиця 3.5 – Параметри точок доступу, використаних у моделюванні Wi-Fi мережі**

Модель	Розміщення	SSID	VLAN	Канал 2.4 ГГц	Канал 5 ГГц	Потужність 2.4 ГГц	Потужність 5 ГГц
1	2	3	4	5	6	7	8
TP-Link EAP225	Кабінет 3.7	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	11	36	20	20
TP-Link EAP225	Кабінет 3.6	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	6	40	20	20
TP-Link EAP225	Кабінет 3.4	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	11	44	20	20
TP-Link EAP225	Кабінет 3.3	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	1	48	20	20
TP-Link EAP225	Кабінет 3.2	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	11	36	20	20
TP-Link WR845N	Книжковий архів	Liceum-Staff	20	6	-	16	-
TP-Link WR845N	Бібліотека	Liceum-Staff	20	1	-	16	-

Вибрані конфігурації дозволили створити покриття без надмірних зон перекриття, уникнути конфліктів каналів та забезпечити надійний доступ до

мережі в усіх ключових зонах третього поверху. Використання сучасних керованих пристроїв у поєднанні з наявними старими точками також демонструє потенціал для поетапного оновлення інфраструктури.

### 3.5.4 Розміщення точок доступу за межами будівлі

На рисунку 3.12 представлено віртуальне розміщення точок доступу на території, прилеглий до Калуського ліцею №5. Метою моделювання було забезпечити якісне бездротове покриття у зонах зовнішнього перебування учнів, зокрема на стадіоні, поблизу головного входу та на внутрішньому подвір'ї.



Рисунок 3.12 – Розміщення зовнішніх точок доступу на території ліцею (моделювання в NetSpot)

Для реалізації зовнішнього покриття змодельовано лише три точки доступу, що дійсно будуть встановлені за межами будівлі. Решта точок, показаних на схемі, використовувались виключно для врахування впливу на зовнішнє покриття від точок доступу, розташованих усередині приміщень на першому поверсі. Це дозволяє точніше моделювати завади та перекриття сигналів при розрахунку зони дії зовнішніх пристроїв.

На території стадіону встановлено дві точки TP-Link EAP225-Outdoor — на північній та південній стороні. Завдяки симетричному розміщенню досягається

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

повне покриття всієї спортивної зони, включаючи бігові доріжки та зону для відпочинку. Обидва пристрої транслюють SSID Liceum-Student та Liceum-Staff з розподілом трафіку за VLAN 10 і 20 відповідно.

Третя точка TP-Link EAP610-Outdoor встановлена на фасаді біля головного входу. Вона забезпечує доступ до мережі у зоні перед входом до закладу, де часто перебувають учні, батьки або персонал. Ця точка підтримує стандарт Wi-Fi 6 і дозволяє обслуговувати велику кількість підключень із високою пропускнуою здатністю.

Усі пристрої мають захист від вологи та пилу (IP65), підтримують живлення по PoE, працюють у діапазонах 2.4 та 5 ГГц та мають зовнішні всеспрямовані антени. Технічні параметри змодельованих точок наведено в таблиці 3.6.

**Таблиця 3.6 – Параметри зовнішніх точок доступу, встановлених на території ліцею**

Модель	Розміщення	SSID	VLAN	Канал 2.4 ГГц	Канал 5 ГГц	Потужність 2.4 ГГц	Потужність 5 ГГц
TP-Link EAP225-Outdoor	Стадіон, північна сторона	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	6	48	20	21
TP-Link EAP225-Outdoor	Стадіон, південна сторона	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	1	40	18	21
TP-Link EAP610-Outdoor	Головний вхід	Liceum-Student / Liceum-Staff	10 / 20	1	48	18	22

### 3.6 Аналіз точності результатів моделювання

Під час моделювання бездротового покриття за допомогою режиму Predictive Survey у програмі NetSpot використовуються теоретичні моделі поширення радіосигналу, які не завжди відображають умови реального середовища. Усі розрахунки виконуються з урахуванням введених архітектурних елементів, типу матеріалів та потужності передавачів, однак низка факторів залишаються поза межами моделі.

Серед головних обмежень цього підходу варто відзначити: відсутність змін у відбитті сигналу, спричинених рухомими об'єктами (учні, меблі тощо), ігнорування електромагнітних завад від пристроїв, які не моделюються явно

(монітори, комп'ютери, металеві шафи), а також нездатність врахувати мережеве навантаження та тип трафіку на практиці.

Додатково, слід враховувати, що фізичні параметри матеріалів (відбиття, поглинання) у програмі мають узагальнені значення. У реальних умовах навіть один і той самий тип стіни або дверей може мати суттєві відмінності у поведінці сигналу залежно від товщини, оздоблення чи внутрішньої структури. Таким чином, навіть точна прив'язка до креслення не гарантує ідеальну відповідність моделі фактичному середовищу.

Сама карта приміщень, що використовувалась у моделюванні, є спрощеною та не враховує низку параметрів, які можуть вплинути на розповсюдження сигналу. До таких параметрів належать: висота стель, наявність дверних і віконних арок, зміни висоти підлоги між секціями поверху, великогабаритні об'єкти в аудиторіях, а також матеріали, що змінюються з часом (наприклад, штори, меблі, покриття підлоги).

Отже, результати розрахунку карти покриття слід вважати наближеними до практичних значень, але не тотожними. У наступному розділі буде виконано зіставлення результатів моделювання з реальними тепловими картами, отриманими під час переддипломної практики. Це дозволить оцінити точність методу Predictive Survey та сформулювати рекомендації щодо коригування параметрів.

### **3.7 Потенційні переваги впровадження**

#### **3.7.1 Проблеми та обмеження існуючої мережі**

У ході дослідження існуючої бездротової мережі Калуського ліцею №5 було виявлено низку технічних та організаційних проблем, які суттєво впливають на стабільність, якість та безпеку підключення користувачів.

По-перше, інфраструктура побудована фрагментарно — більшість точок доступу є побутовими пристроями, встановленими без єдиного плану покриття. Це призводить до утворення мертвих зон, а також зон з надмірним перекриттям сигналів. Наприклад, згідно з рисунком А.6 з додатку А (теплова карта рівня

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

сигналу на третьому поверсі), у крайніх кабінетах (зокрема каб. 3.2 та 3.7) рівень сигналу падає нижче  $-75$  дБм, що критично для стабільного з'єднання.

Друга суттєва проблема — відсутність фіксації каналів на більшості точок доступу. Через це під час обходу фіксувались численні випадки повного або часткового перекриття каналів у діапазоні 2.4 ГГц, що чітко простежується на рисунку А.10. В окремих ділянках коридору одночасно працювало до чотирьох точок у межах одного каналу (наприклад, канал б), що призводило до колізій на рівні передачі кадрів.

Третім обмеженням є використання застарілих стандартів. Більшість пристроїв підтримують лише 802.11n (Wi-Fi 4), що обмежує швидкість з'єднання та кількість одночасних клієнтів до 15–20. Ці обмеження критичні у комп'ютерних класах, де в години навантаження відбувається масовий вхід до хмарних сервісів або вебплатформ для навчання.

Також зафіксовані проблеми із непередбачуваним перемиканням пристроїв між точками доступу. На стиках зон покриття користувачі часто скаржились на раптові розриви з'єднання або ситуації, коли пристрої “залипали” на точках із далеким сигналом, ігноруючи ближчі. Це пояснюється відсутністю безшовного роумінгу, який не підтримується на більшості встановленого обладнання.

Адміністративна частина мережі також характеризується хаотичністю: немає єдиного списку IP-адрес точок доступу, багато з них мають стокові паролі, а доступ до налаштувань не обмежений або відкритий із локальної мережі. У результаті — неможливо здійснити централізований контроль чи провести облік підключених клієнтів.

Окрім цього, жодна з точок не підтримує розділення трафіку за VLAN. Усі користувачі підключаються до одного сегменту мережі, що створює додаткові ризики втрати конфіденційних даних, оскільки відсутня ізоляція між трафіком персоналу та учнів.

На завершення варто зазначити, що існуюча мережа не має потенціалу до масштабування, оскільки немає гнучкого механізму додавання нових точок без переконфігурації всієї інфраструктури. Це гальмує розвиток цифрових сервісів у закладі.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		



місцях не перевищує 15 дБ, що призводить до частих переривань з'єднання, втрати пакетів і поганої якості зв'язку.

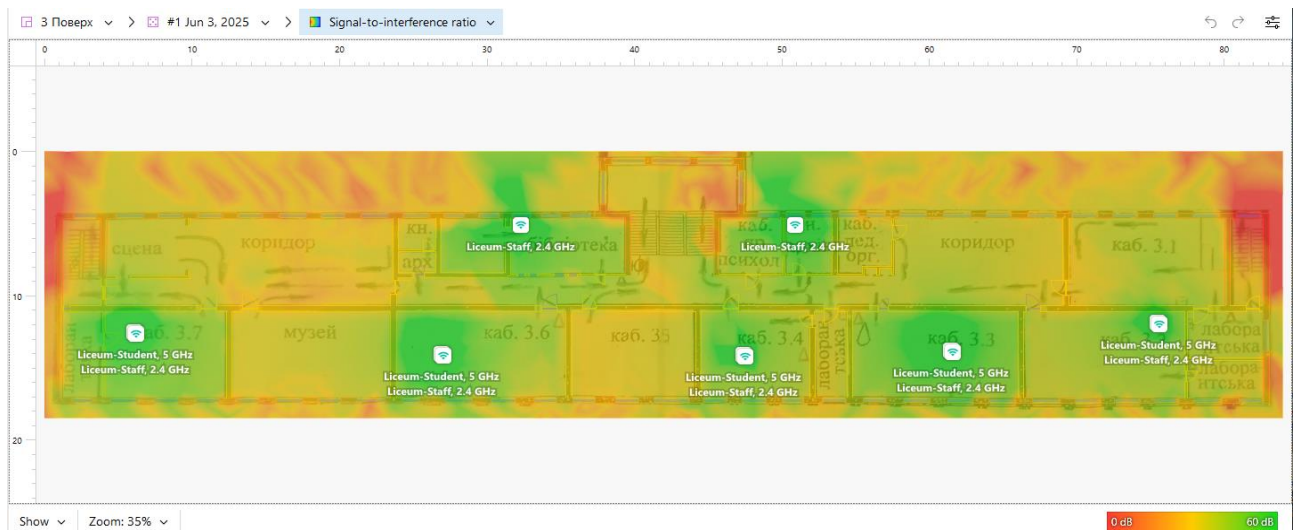


Рисунок 3.14 – Відношення сигнал/завади змодельованої мережі (3 поверх)

Завдяки фіксованому призначенню каналів кожній точці доступу вдалося уникнути конфліктів у діапазоні 2.4 ГГц. Усі точки було налаштовано відповідно до частотного плану, що демонструється на рисунку 3.15. Це забезпечило повну відсутність перешкод між суміжними точками.

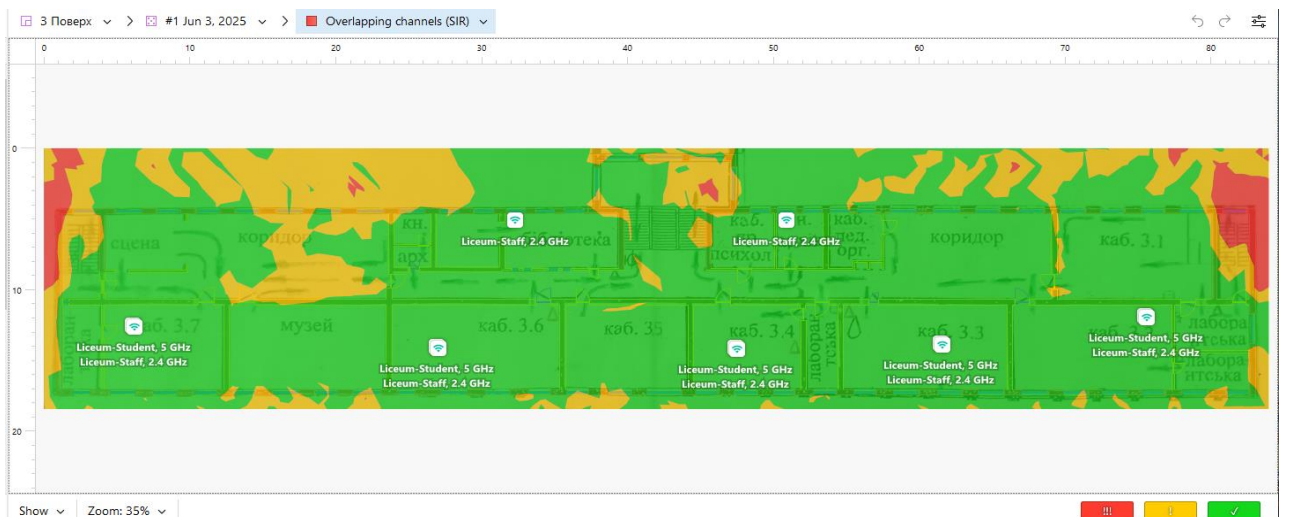


Рисунок 3.15 – Перекриття каналів змодельованої мережі (3 поверх)

У протилежність цьому, на рисунках А.20 та А.21 спостерігається хаотичний розподіл частот у поточній мережі, з накладенням до 3–4 точок на одному каналі.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

Впровадження змодельованої архітектури передбачає використання сучасного обладнання з підтримкою стандартів Wi-Fi 5 та Wi-Fi 6. Точки доступу моделі EAP225 та EAP620 HD підтримують високі швидкості передачі, MU-MIMO, Beamforming та можливість обслуговування десятків клієнтів одночасно. Це особливо важливо для кабінетів інформатики та зони їдальні, де одночасно підключається багато пристроїв.

Іншою важливою перевагою є впровадження VLAN — персонал і учні підключаються до окремих логічних мереж (VLAN 20 і VLAN 10 відповідно), що підвищує як безпеку, так і керованість. Кожна точка транслює два SSID з відповідним трафіком, що дозволяє гнучко реалізовувати політики доступу та пріоритезацію трафіку.

Адміністрування мережі виконується через контролер TP-Link Omada OC200, що забезпечує централізоване управління, моніторинг, оновлення прошивок і розподіл навантаження. Це дозволяє швидко реагувати на зміни, додавати нові точки доступу або змінювати конфігурацію без фізичного доступу до обладнання.

Окремо варто відзначити зовнішнє покриття території. За допомогою трьох зовнішніх точок доступу (EAP225-Outdoor та EAP610-Outdoor) забезпечено сигнал біля головного входу, на подвір'ї та на території стадіону. Це дозволяє використовувати мережу під час перерв, заходів на відкритому повітрі або у випадках евакуації.

Загалом нова мережа усуває критичні проблеми, виявлені під час аналізу чинної інфраструктури, і створює надійне цифрове середовище для навчання, адміністративного управління та інтеграції хмарних сервісів.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

## ВИСНОВКИ

Дана бакалаврська робота присвячена аналізу та вдосконаленню бездротової мережі у Калуському ліцеї №5 з метою покращення якості доступу до Інтернету для учнів і працівників закладу.

У першому розділі подано опис навчального закладу як середовища для впровадження технічних рішень, а також розглянуто основи побудови Wi-Fi мереж. Проаналізовано особливості передачі сигналу, чинники, що впливають на якість покриття, і сучасні підходи до організації бездротового зв'язку в будівлях подібного типу.

У другому розділі досліджено наявну мережу ліцею. Було проведено обхід приміщень із вимірюванням параметрів сигналу, побудовано карти покриття та визначено проблемні ділянки. Аналіз показав нерівномірність покриття, наявність завад і недоліки у розміщенні обладнання. Виявлені проблеми стали підставою для подальшого вдосконалення мережі.

У третьому розділі представлено проєкт оновленої мережі. Була створена віртуальна модель, що охоплює всі поверхи будівлі та зовнішню територію. Обрано пристрої, які відповідають потребам навчального процесу, та запропоновано нову схему їхнього розміщення. В результаті досягнуто повного покриття приміщень стабільним сигналом, усунуто зони слабого з'єднання та враховано можливість одночасного підключення великої кількості користувачів.

Таким чином, у межах даної роботи було не лише виявлено недоліки існуючої бездротової мережі, але й розроблено практичні рекомендації для її покращення. Запропоновані рішення можуть бути впроваджені на практиці та забезпечити стабільну роботу Інтернету в навчальному закладі, що особливо важливо для сучасного освітнього середовища.

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Калуський ліцей №5 Калуської міської ради Івано-Франківської області. URL: <https://school5.if.ua/> (дата звернення: 10.05.2025).
2. Базові положення стандарту IEEE 802.11n для мереж Wi-Fi. URL: <https://help.keenetic.com/hc/uk/articles/213968809> (дата звернення: 10.05.2025).
3. Базові положення стандарту IEEE 802.11ac для мереж Wi-Fi. Keenetic. URL: <https://help.keenetic.com/hc/uk/articles/213968949> (дата звернення: 10.05.2025).
4. Базові положення стандарту Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) для мереж Wi-Fi. Keenetic. URL: <https://help.keenetic.com/hc/uk/articles/360010536300> (дата звернення: 10.05.2025).
5. Wi-Fi Alliance introduces Wi-Fi CERTIFIED 7. Wi-Fi Alliance. URL: <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-introduces-wi-fi-certified-7> (дата звернення: 10.05.2025).
6. IEEE 802.11 Working Group. Project Timelines. URL: [https://www.ieee802.org/11/Reports/802.11\\_Timelines.htm](https://www.ieee802.org/11/Reports/802.11_Timelines.htm) (дата звернення: 10.05.2025).
7. IEEE 802.3 Ethernet Working Group. URL: <https://www.ieee802.org/3/> (дата звернення: 10.05.2025).
8. Understanding the IEEE 802.3af Standard: Basics of Power over Ethernet (PoE). Phihong Technology. URL: <https://www.phihong.com/understanding-the-ieee-802-3af-standard-basics-of-power-over-ethernet-poe/> (дата звернення: 10.05.2025).
9. Wi-Fi signal attenuation coefficients when passing through different materials. Keenetic. URL: <https://help.keenetic.com/hc/en-us/articles/213968869> (дата звернення: 17.05.2025).
10. What affects Wi-Fi networks? The possible sources of interference. Keenetic. URL: <https://help.keenetic.com/hc/en-us/articles/213968709> (дата звернення: 17.05.2025).

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		

11. Ekahau AI Pro – Enterprise Wi-Fi Design Tool. Ekahau. URL: <https://www.ekahau.com/products/ekahau-connect/ai-pro/> (дата звернення: 17.05.2025).

12. NetSpot – Wi-Fi Site Surveys, Planning & Heatmaps. URL: <https://www.netspotapp.com/> (дата звернення: 17.05.2025).

13. Acrylic Wi-Fi Heatmaps – Wi-Fi Site Survey Tool. Acrylic Wi-Fi. URL: <https://www.acrylicwifi.com/en/wifi-heatmaps/> (дата звернення: 17.05.2025).

14. inSSIDer Product Overview. MetaGeek. URL: <https://www.metageek.com/products/inssider/> (дата звернення: 17.05.2025).

15. Acer Aspire 3 A315-58-553J Specifications. URL: <https://www.acer.com/ua-uk/laptops/aspire/aspire-3-intel/pdp/NX.ADDEU.02R#pdpSpecs> (дата звернення: 24.05.2025).

16. Intel Wi-Fi 6 AX201 Gig+ – Specifications. Intel. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/sku/204836/intel-wifi-6-ax201-gig/specifications.html> (дата звернення: 24.05.2025).

17. TP-Link TL-SF1024D – 24-Port 10/100Mbps Desktop/Rackmount Switch. URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/business-networking/unmanaged-switch/tl-sf1024d/> (дата звернення: 24.05.2025).

18. TP-Link TL-WR841N – 300Mbps Wireless N Router. URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/home-networking/wifi-router/tl-wr841n/> (дата звернення: 24.05.2025).

19. D-Link DES-1016D – 16-Port 10/100Mbps Unmanaged Desktop Switch. URL: <https://eu.dlink.com/uk/en/products/des-1016d-16-port-10-100mbps-unmanaged-desktop-switch> (дата звернення: 24.05.2025).

20. Education Networking Solution. URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/business-networking/solution/education/> (дата звернення: 24.05.2025).

21. Калуський лицей №5 на карті Google Earth. URL: <https://earth.google.com/web/search/калуш+лицей+5/@49.0377613,24.35128226,296.9a,509d,35y,18.89h,0t,0r> (дата звернення: 24.05.2025).

22. TP-Link EAP225 – Omada AC1350 Wireless MU-MIMO Gigabit Ceiling Mount Access Point. URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/business-networking/omada-wifi-ceiling-mount/eap225/> (дата звернення: 31.05.2025).

					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат		58

23. TP-Link EAP620 HD – AX1800 Ceiling Mount Wi-Fi 6 Access Point. URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/business-networking/omada-wifi-ceiling-mount/eap620-hd/> (дата звернення: 31.05.2025).

24. TP-Link EAP225-Outdoor – AC1200 Wireless MU-MIMO Gigabit Outdoor Access Point. URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/business-networking/omada-outdoor-ap/eap225-outdoor/> (дата звернення: 31.05.2025).

25. TP-Link EAP610-Outdoor – AX1800 Wireless Outdoor Access Point. URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/business-networking/omada-outdoor-ap/eap610-outdoor/> (дата звернення: 31.05.2025).

26. TP-Link TL-SG1210MP – 10-Port Gigabit PoE+ Switch. URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/business-networking/unmanaged-switch/tl-sg1210mp/> (дата звернення: 31.05.2025).

27. TP-Link TL-SG1218MPE – 16-Port Gigabit Easy Smart PoE Switch. URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/business-networking/easy-smart-switch/tl-sg1218mpe/> (дата звернення: 31.05.2025).

28. TP-Link ER605 – Gigabit Multi-WAN VPN Router. URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/business-networking/vpn-router/er605/> (дата звернення: 31.05.2025).

29. TP-Link OC200 – Omada Cloud Controller. URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/business-networking/omada-hardware-controller/oc200/> (дата звернення: 31.05.2025).

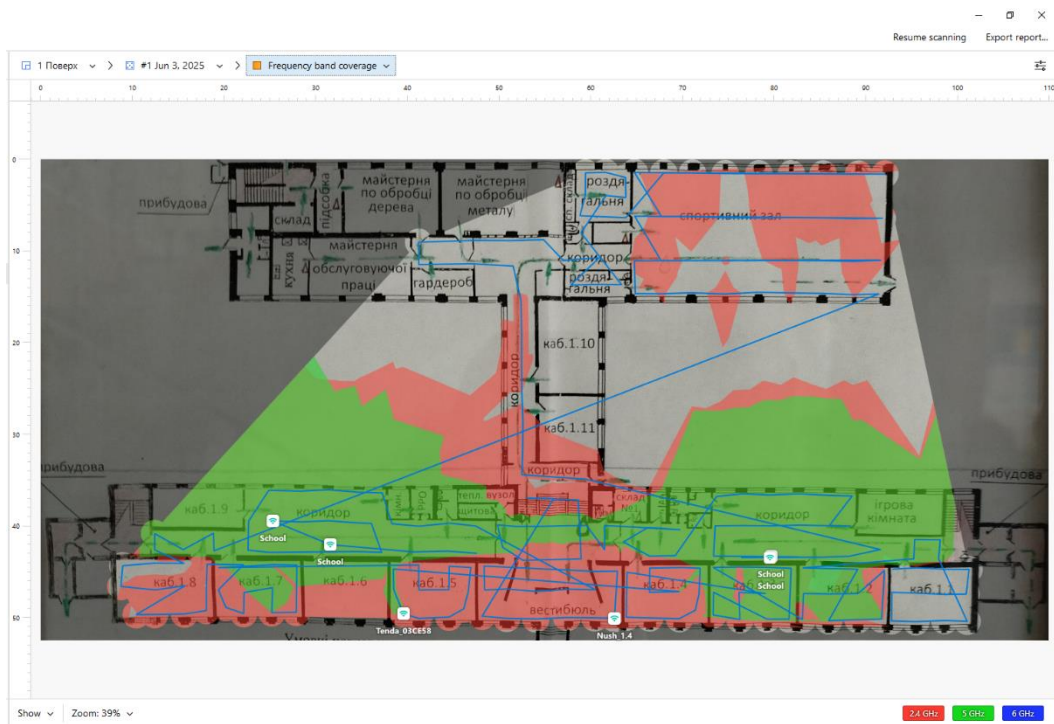
					БР.КІ - 30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дат</i>		

**ДОДАТКИ**





**Рисунок А.5 – Frequency band coverage (1 поверх)**



**Рисунок А.6 – PHY mode (a/b/g/n/ac/ax) coverage (1 поверх)**

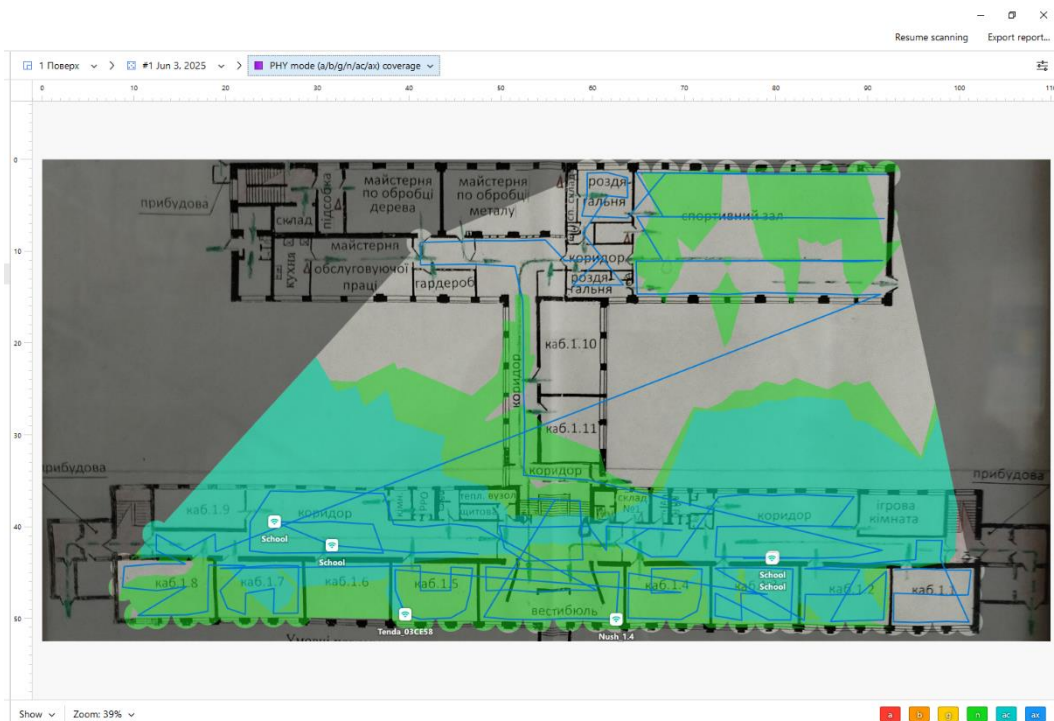


Рисунок А.7 – Issues with SNR (1 поверх)

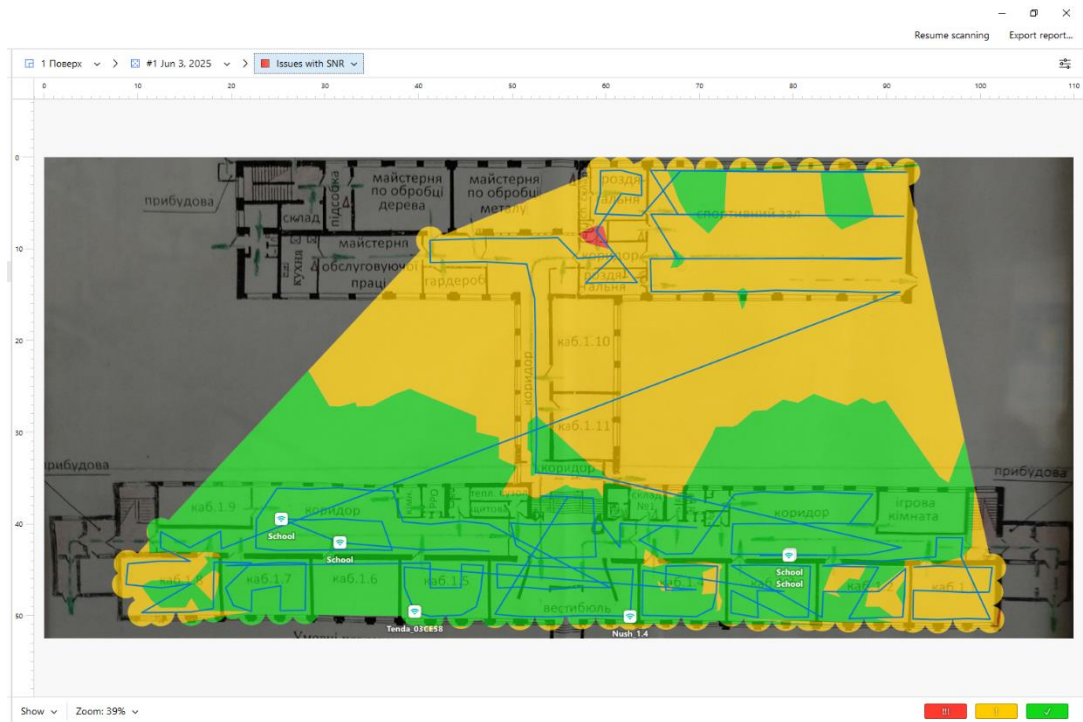


Рисунок А.8 – Low signal level (1 поверх)

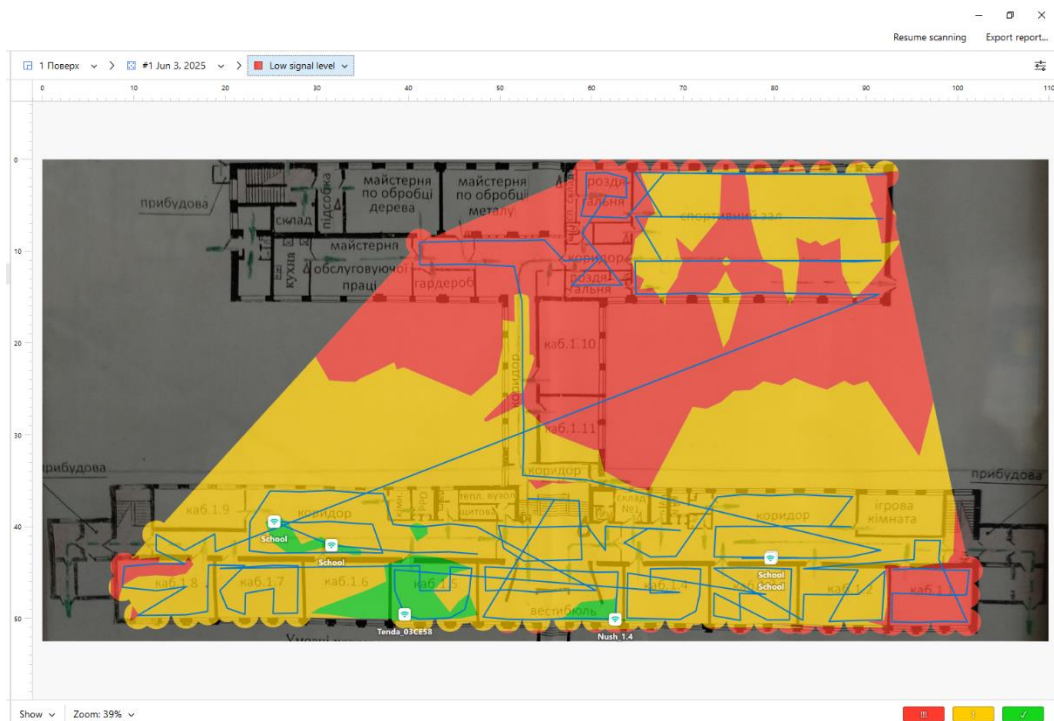


Рисунок А.9 – Overlapping channels (SIR) (1 поверх)

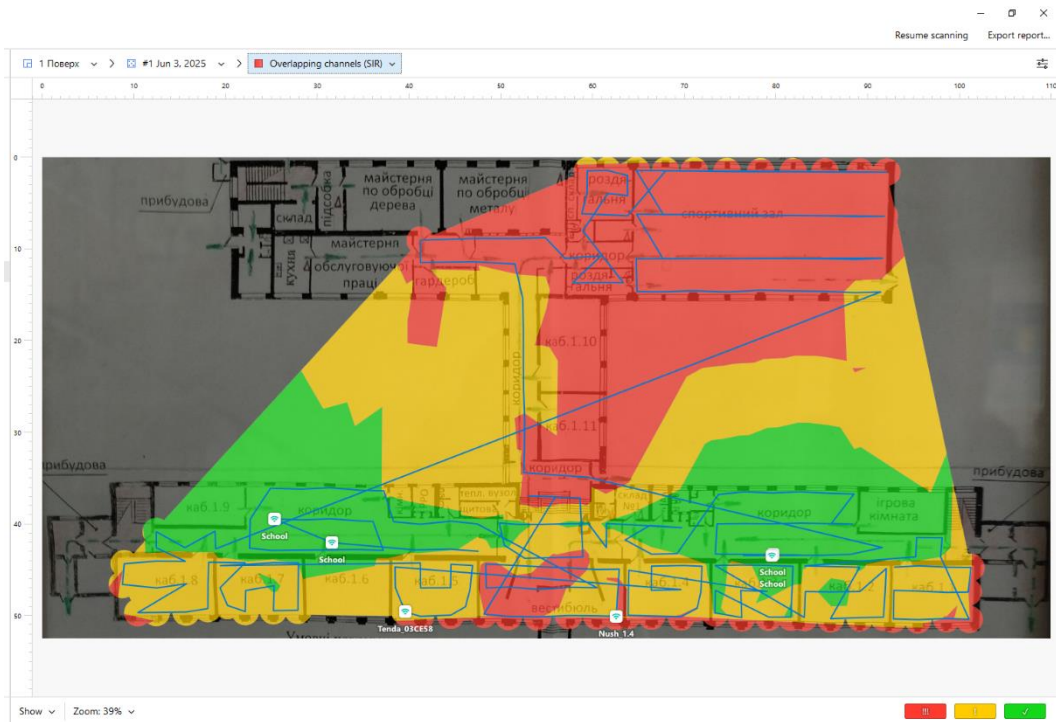


Рисунок А.10 – Signal level (2 поверх)

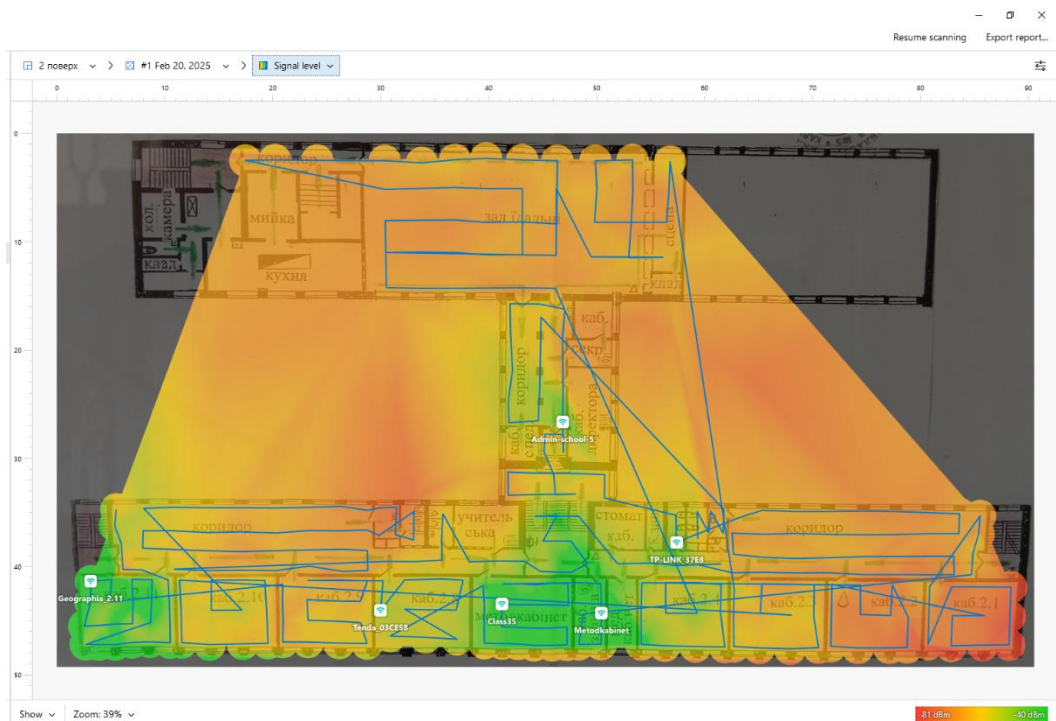


Рисунок А.11 – Signal-to-noise ratio (2 поверх)

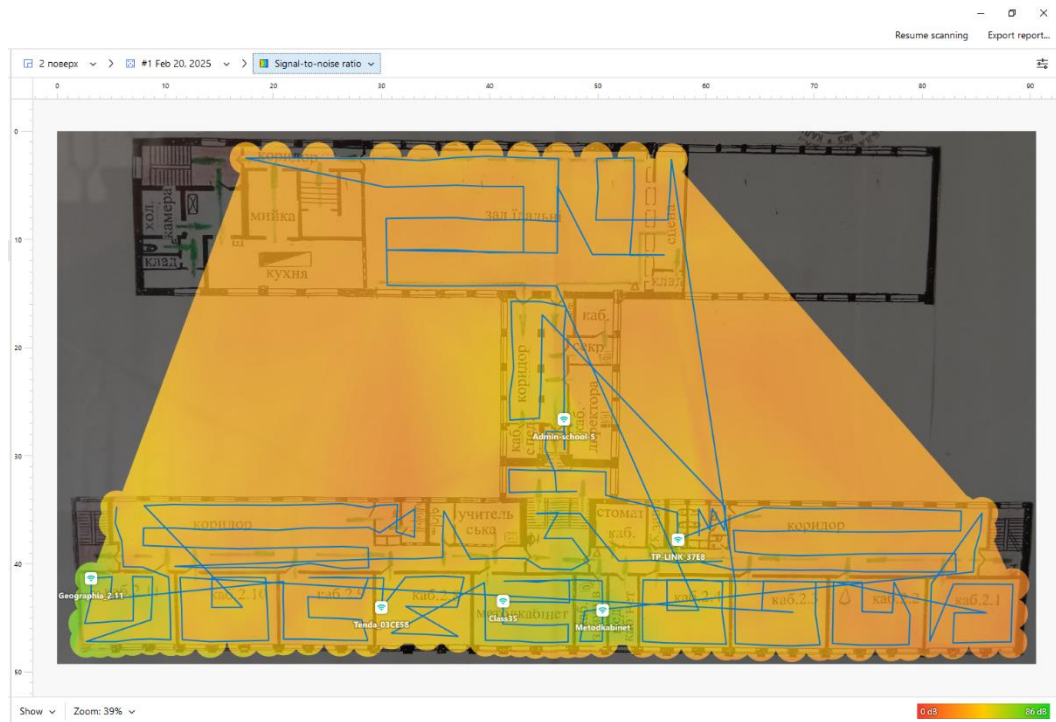


Рисунок А.12 – Signal-to-interference ratio (2 поверх)

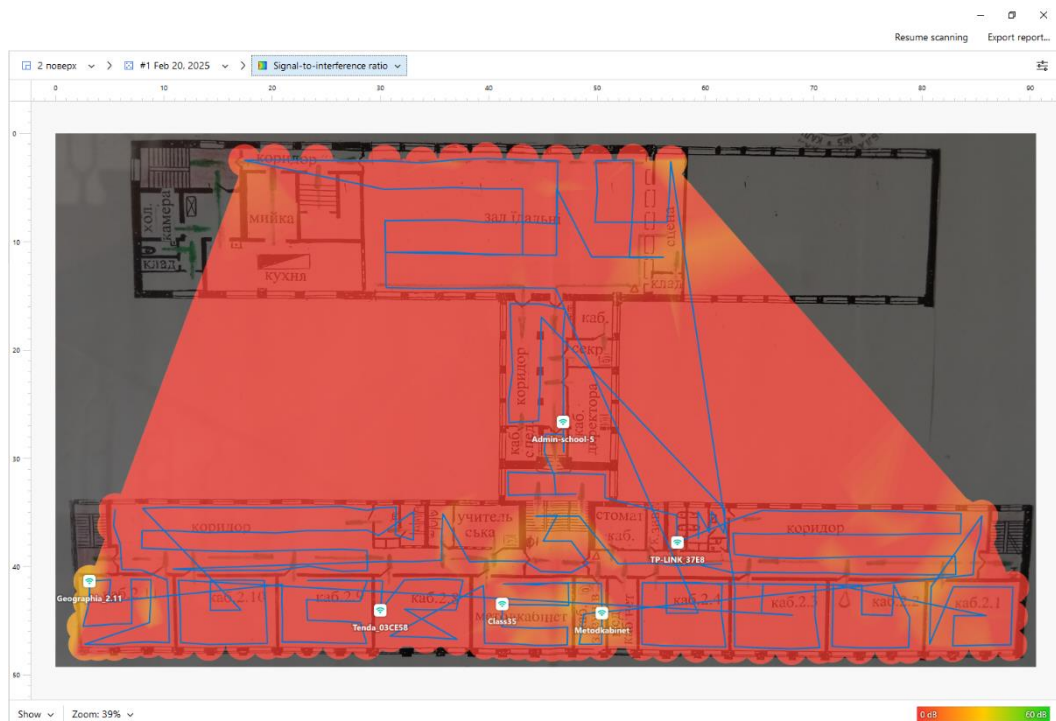


Рисунок А.13 – Quantity of access points (2 поверх)

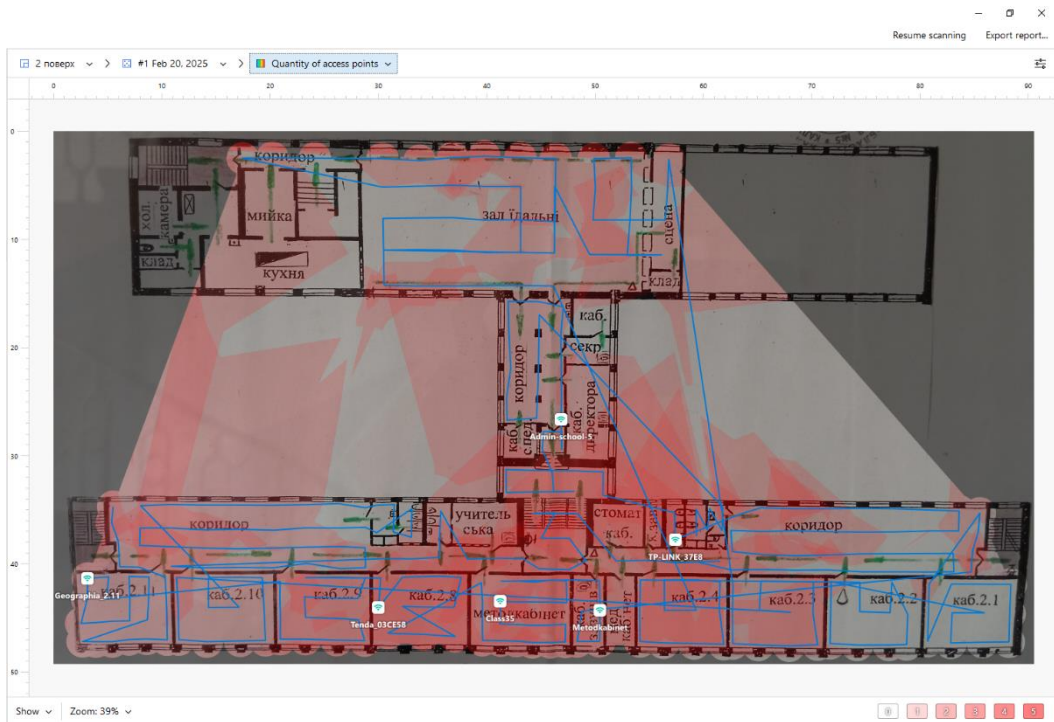
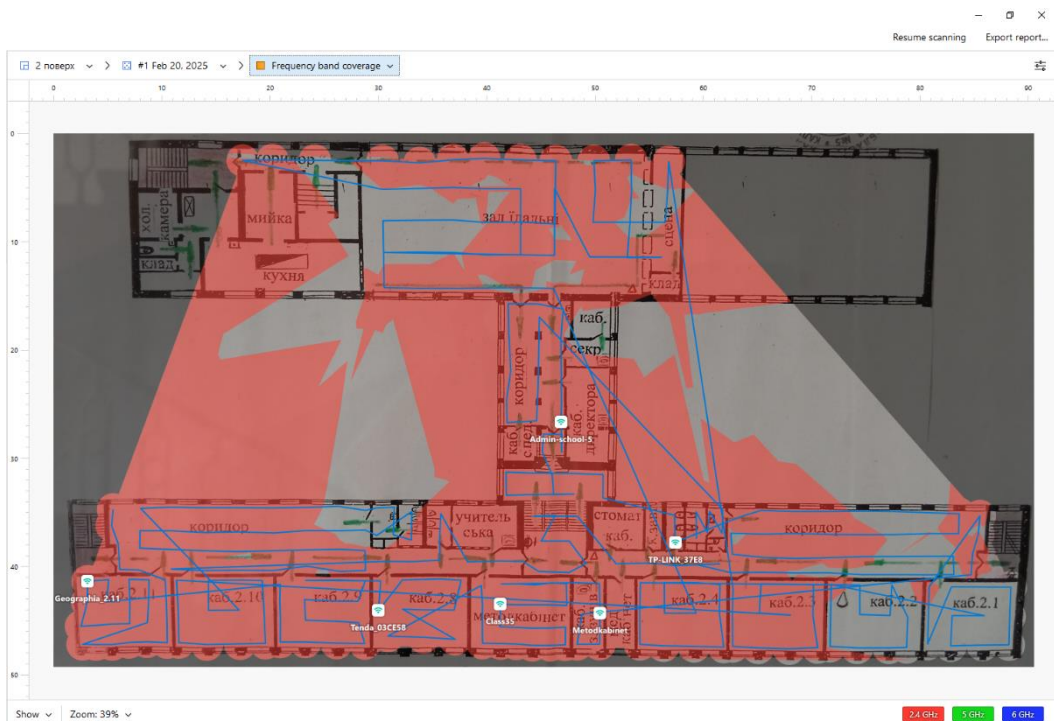


Рисунок А.14 – Frequency band coverage (2 поверх)



**Рисунок А.15 – PHY mode (a/b/g/n/ac/ax) coverage (2 поверх)**



**Рисунок А.16 – Issues with SNR (2 поверх)**

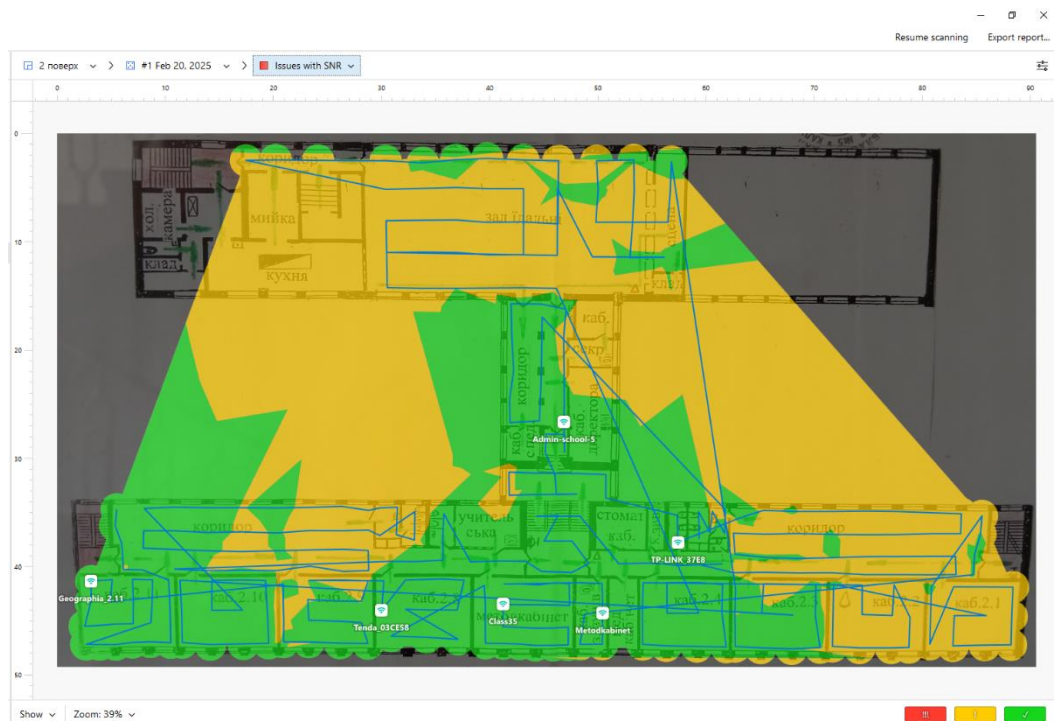


Рисунок А.17 – Low signal level (2 поверх)

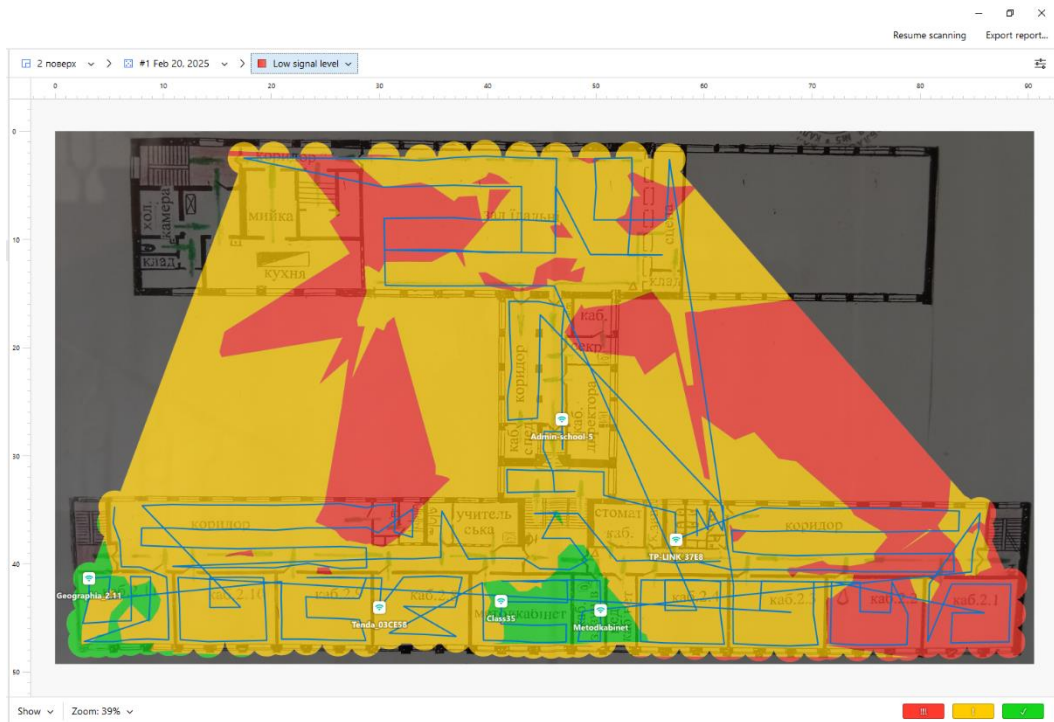


Рисунок А.18 – Overlapping channels (SIR) (2 поверх)

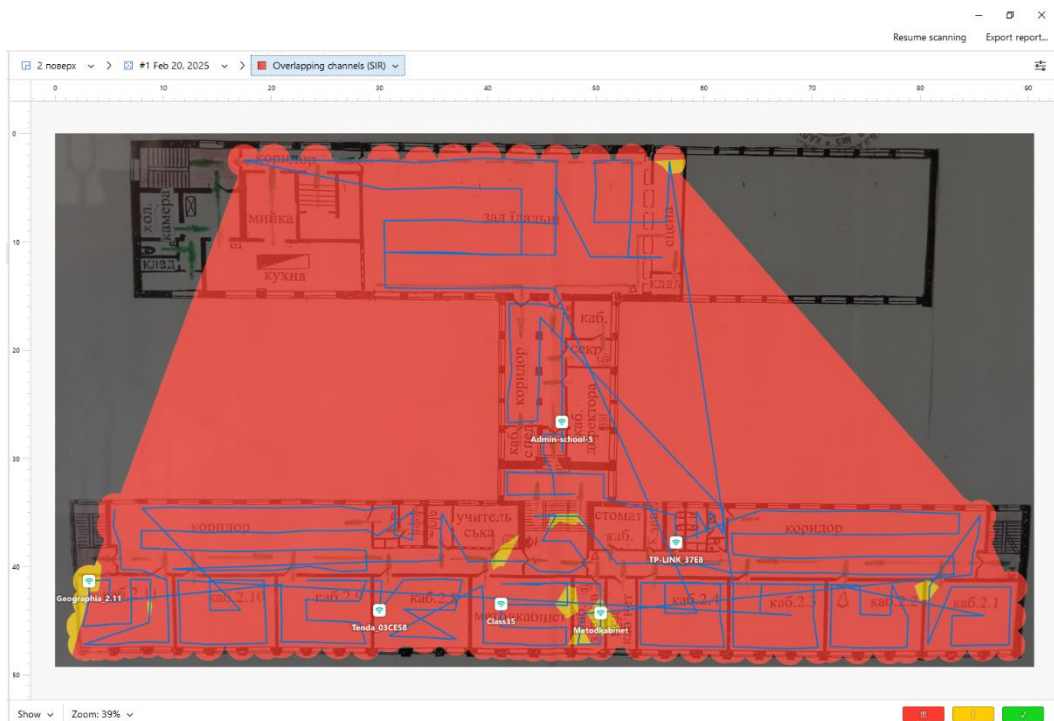


Рисунок А.19 – Signal level (3 поверх)

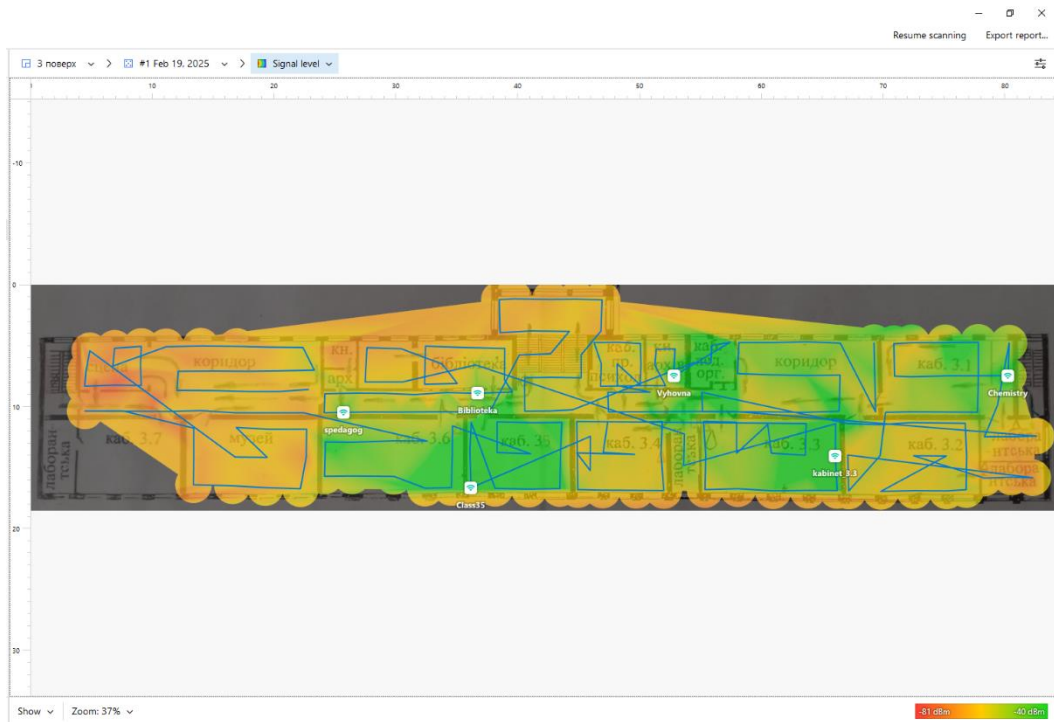


Рисунок А.20 – Signal-to-noise ratio (3 поверх)

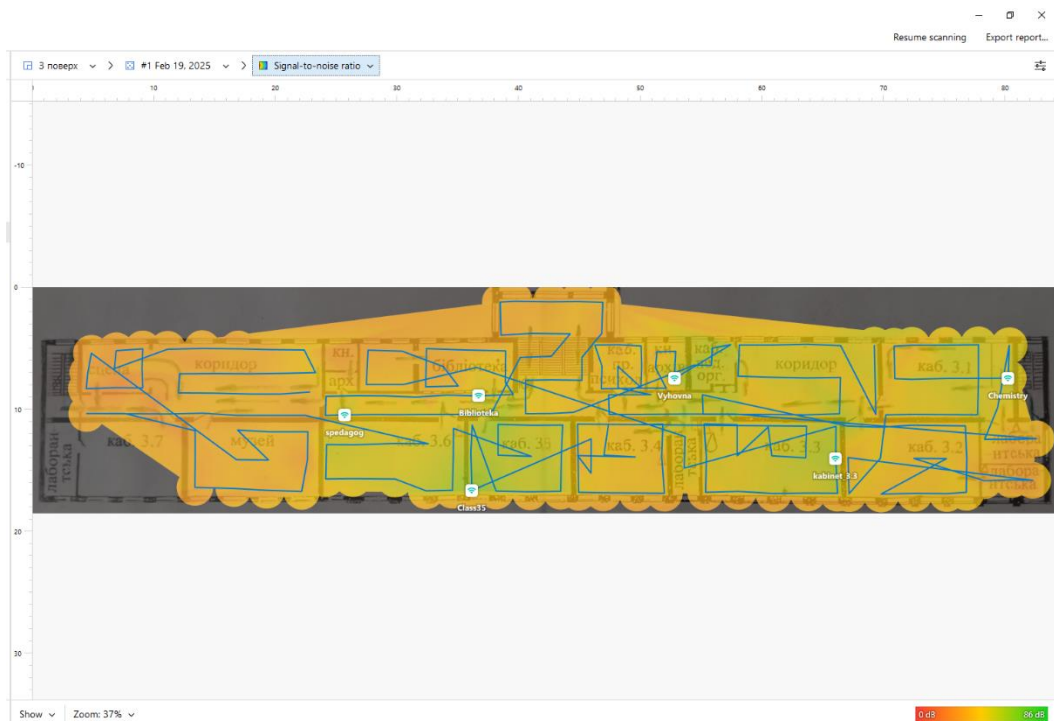








Рисунок А.27 – Overlapping channels (SIR) (3 поверх)

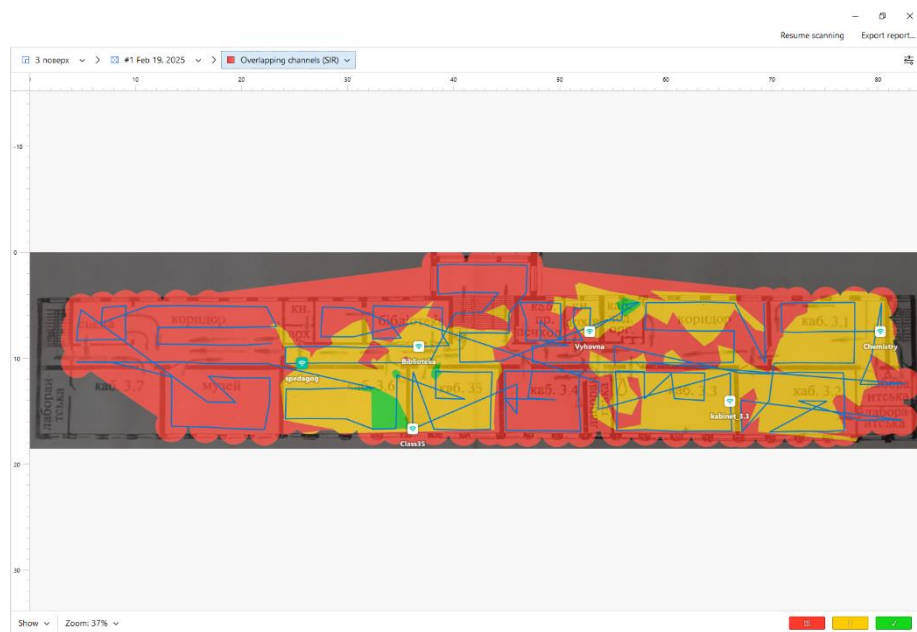


Рисунок Б.1 – Signal level (1 поверх)

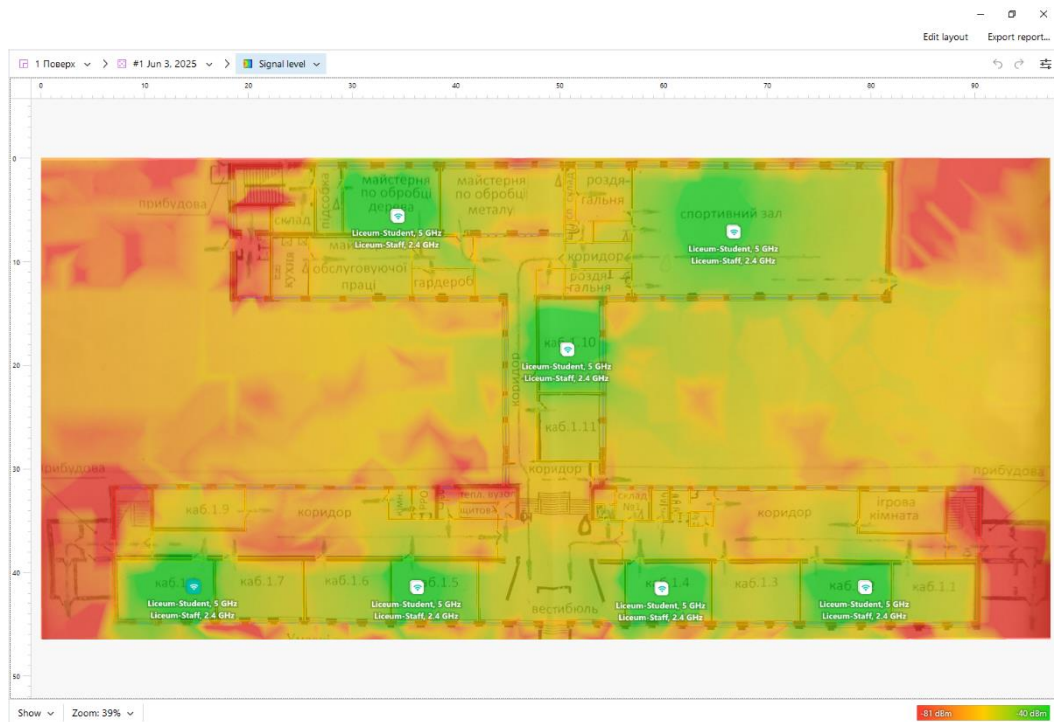


Рисунок Б.2 – Signal-to-interference ratio (1 поверх)



Рисунок Б.3 – Quantity of access points (1 поверх)

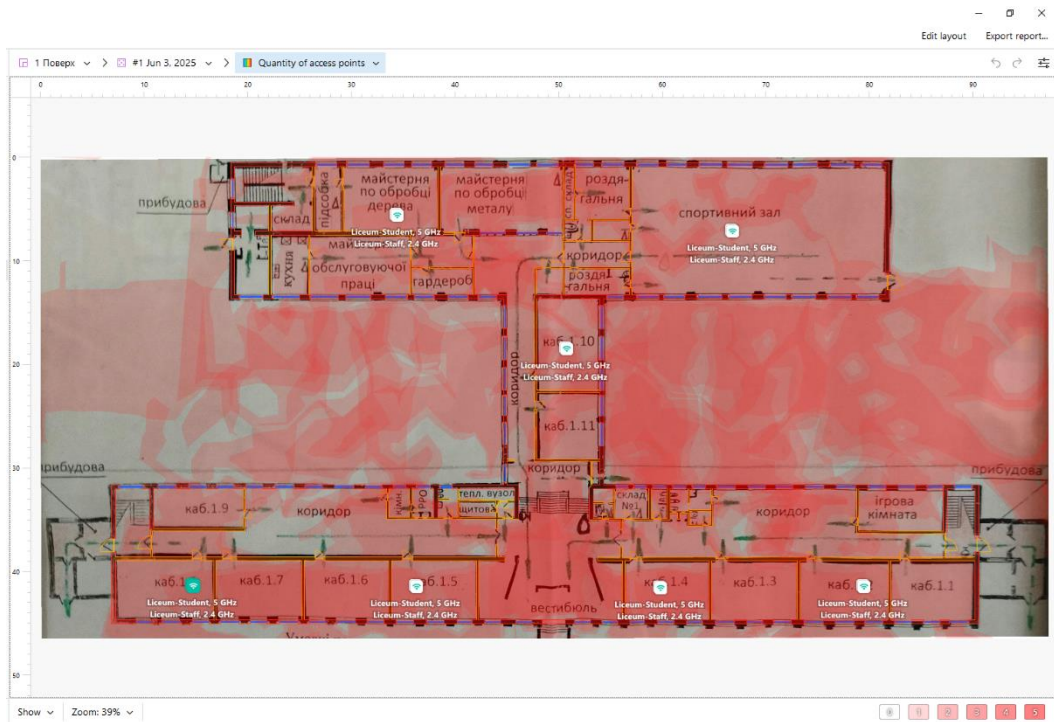
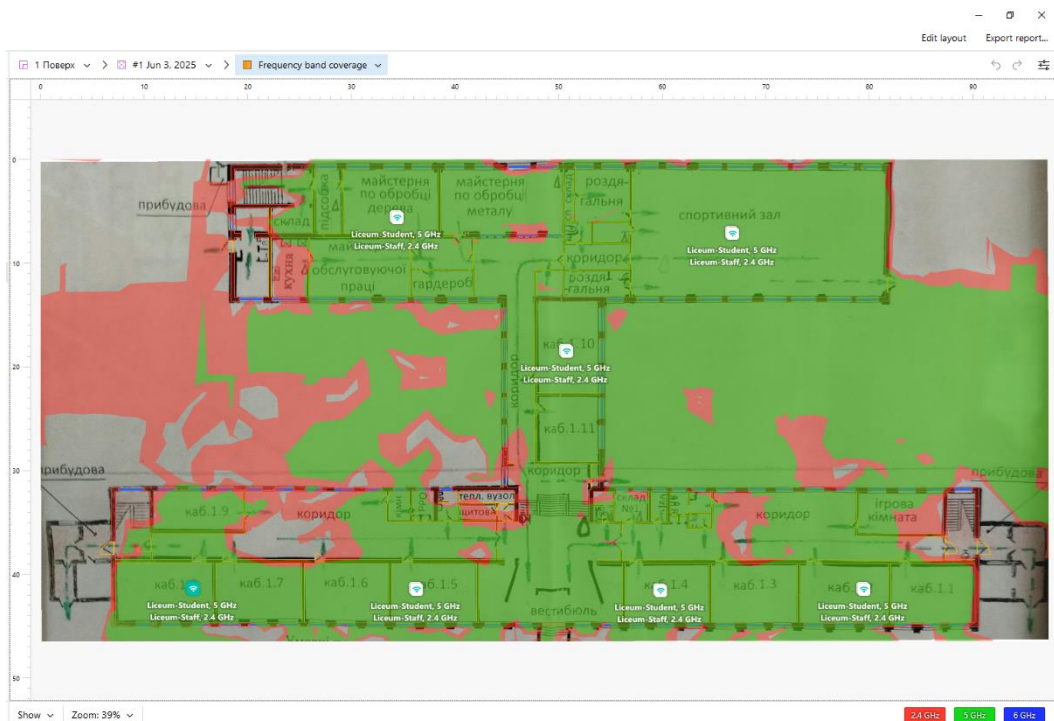
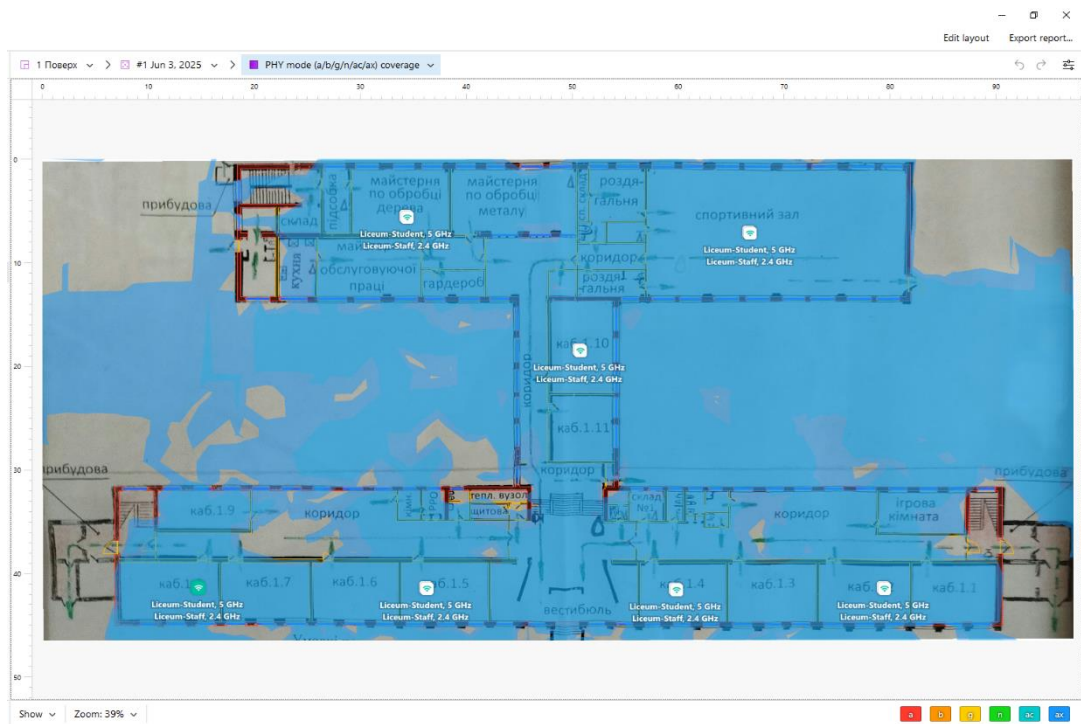


Рисунок Б.4 – Frequency band coverage (1 поверх)



**Рисунок Б.5 – RRU mode (a/b/g/n/ac/ax) coverage (1 поверх)**



**Рисунок Б.6 – Low signal level (1 поверх)**

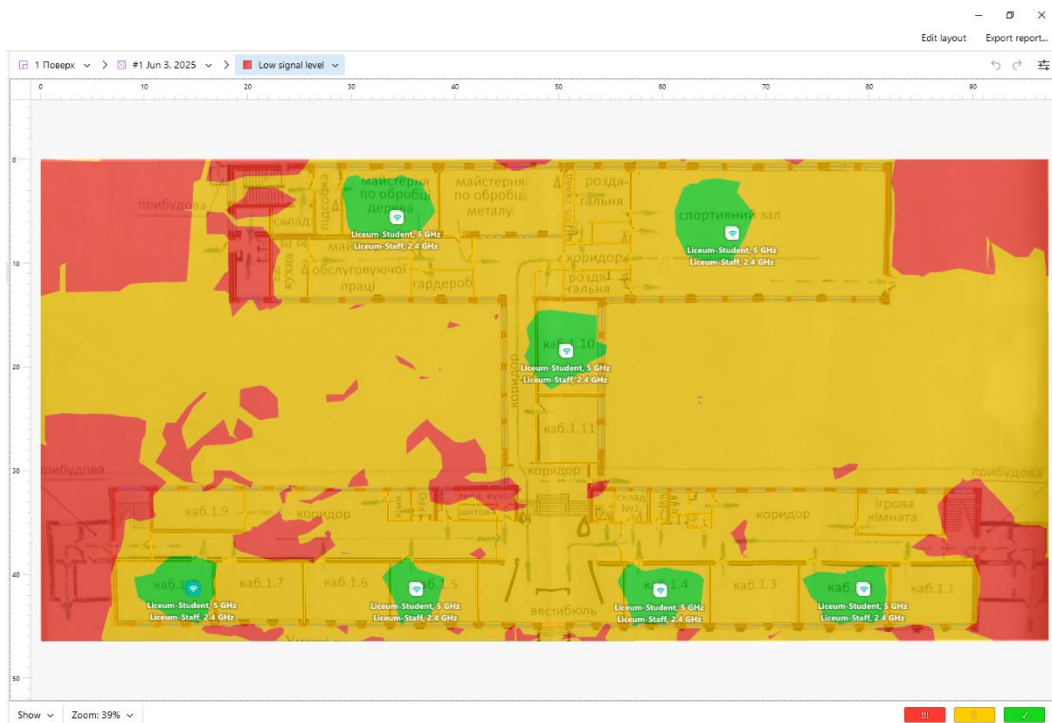


Рисунок Б.7 – Overlapping channels (SIR) (1 поверх)

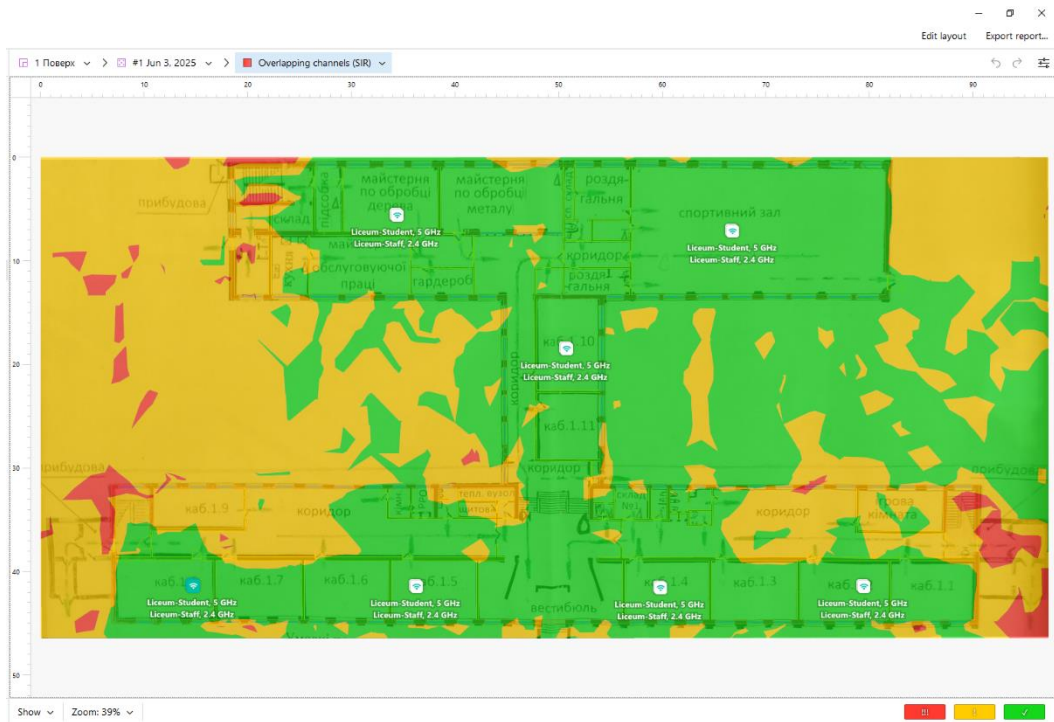


Рисунок Б.8 – Signal level (2 поверх)

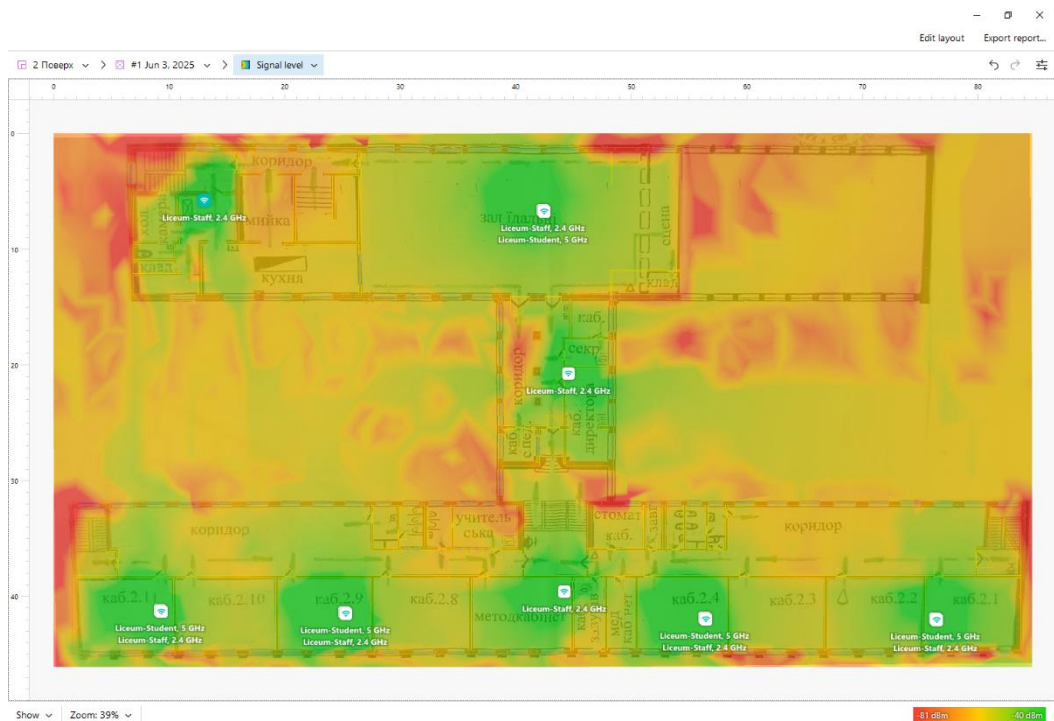






Рисунок Б.13 – Low signal level (2 поверх)

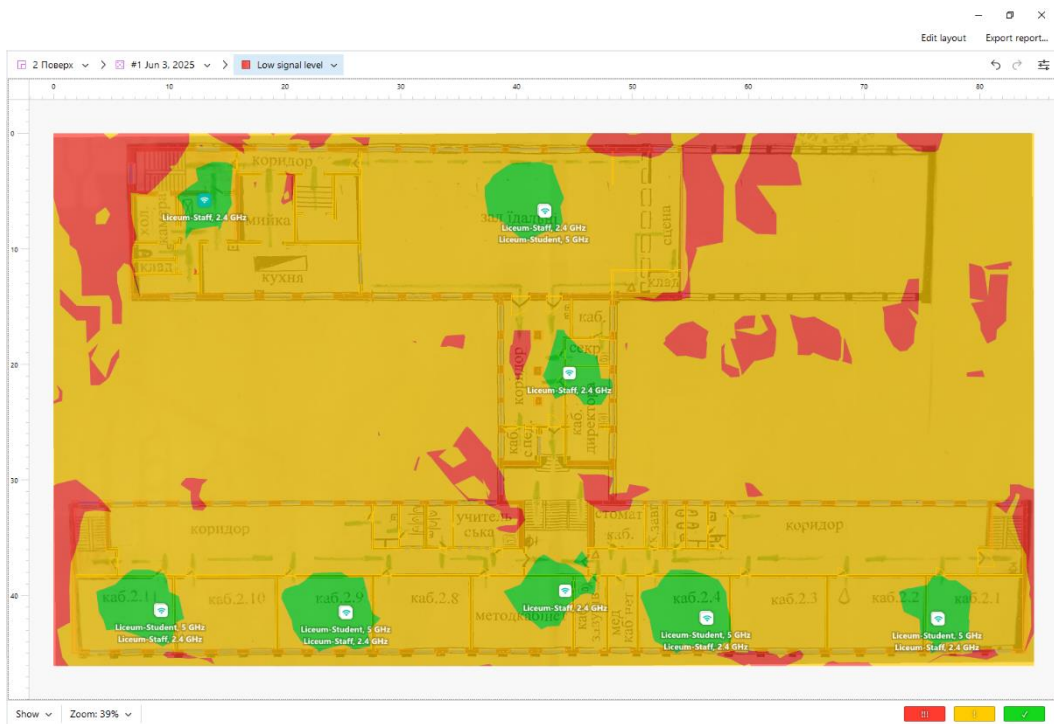


Рисунок Б.14 – Overlapping channels (SIR) (2 поверх)

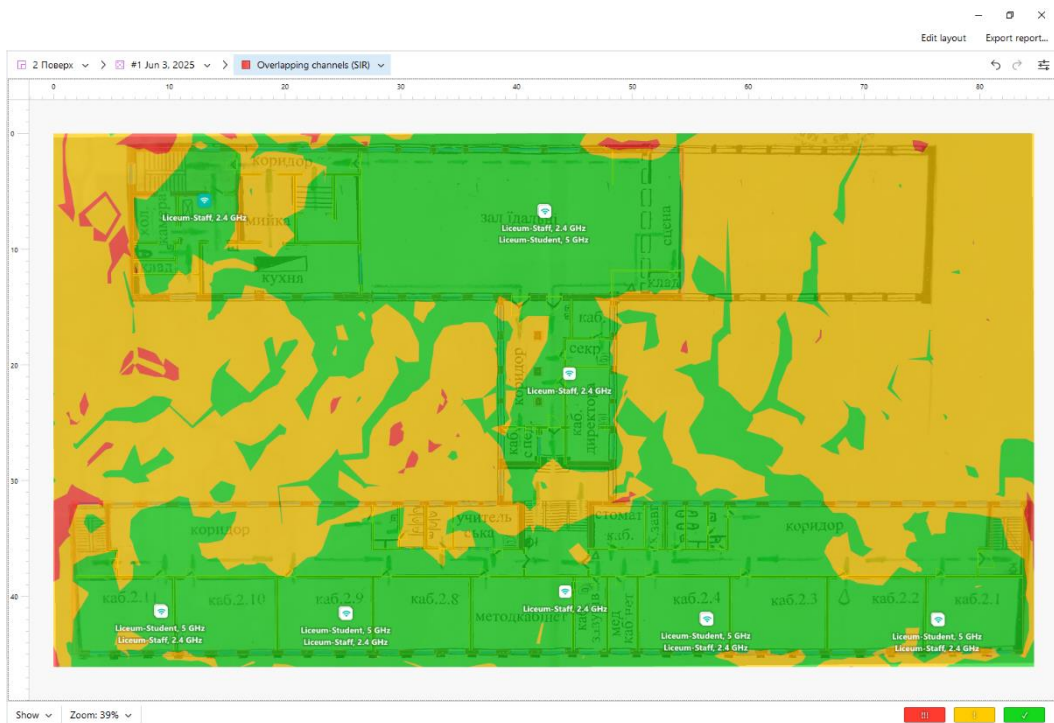


Рисунок Б.15 – Signal level (3 поверх)

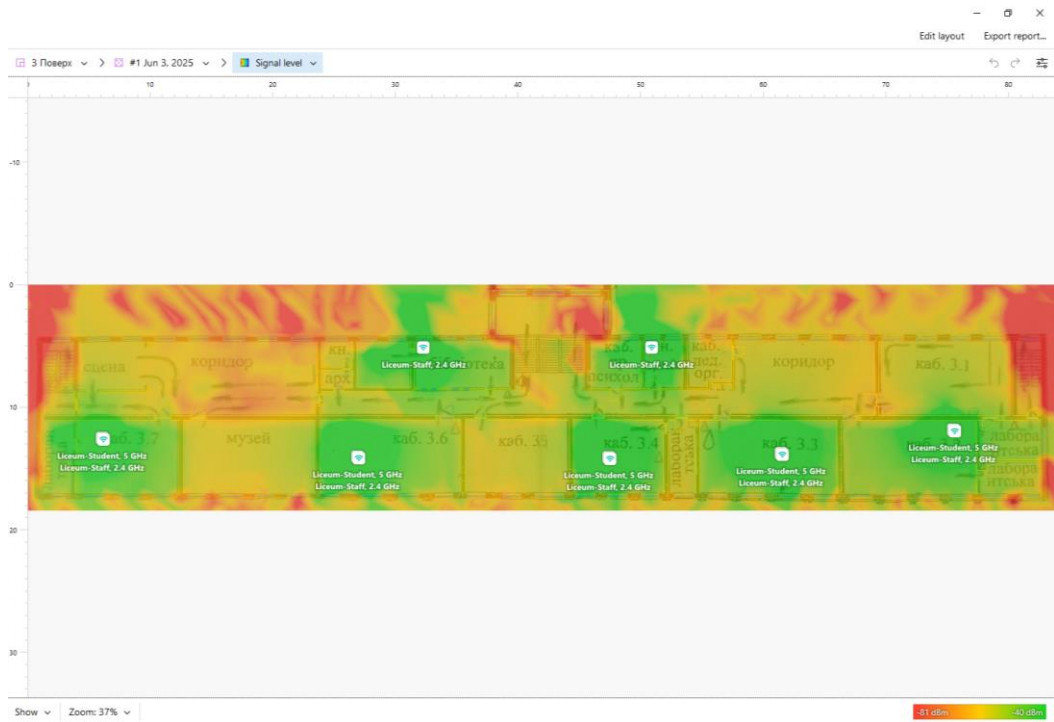


Рисунок Б.16 – Signal-to-interference ratio (3 поверх)

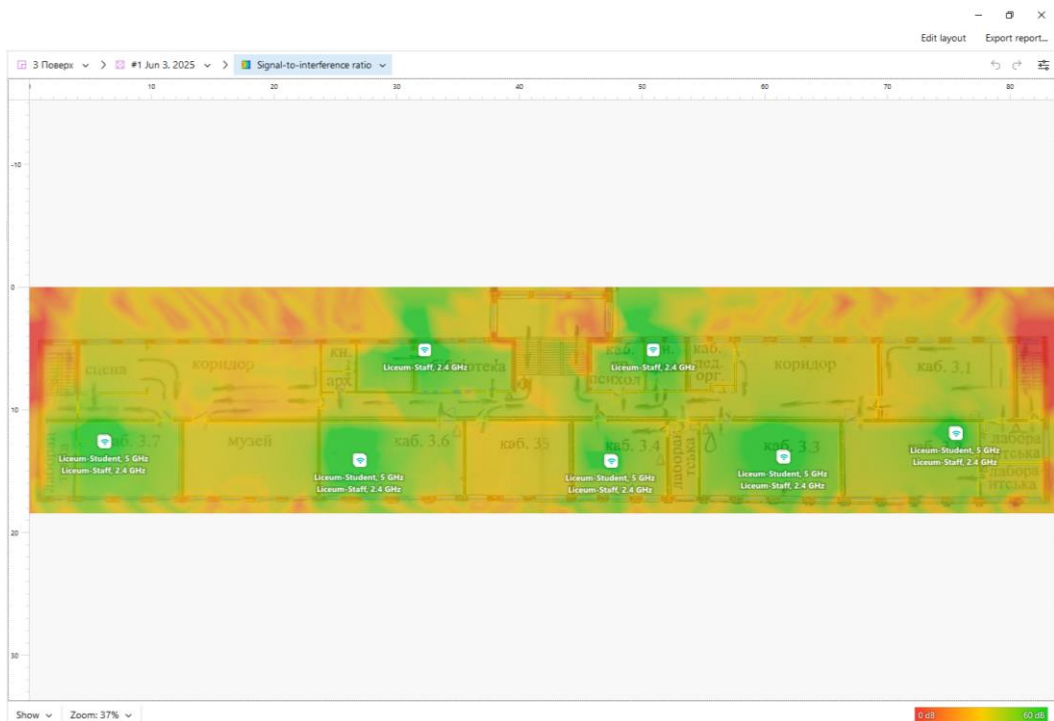


Рисунок Б.17 – Quantity of access points (3 поверх)

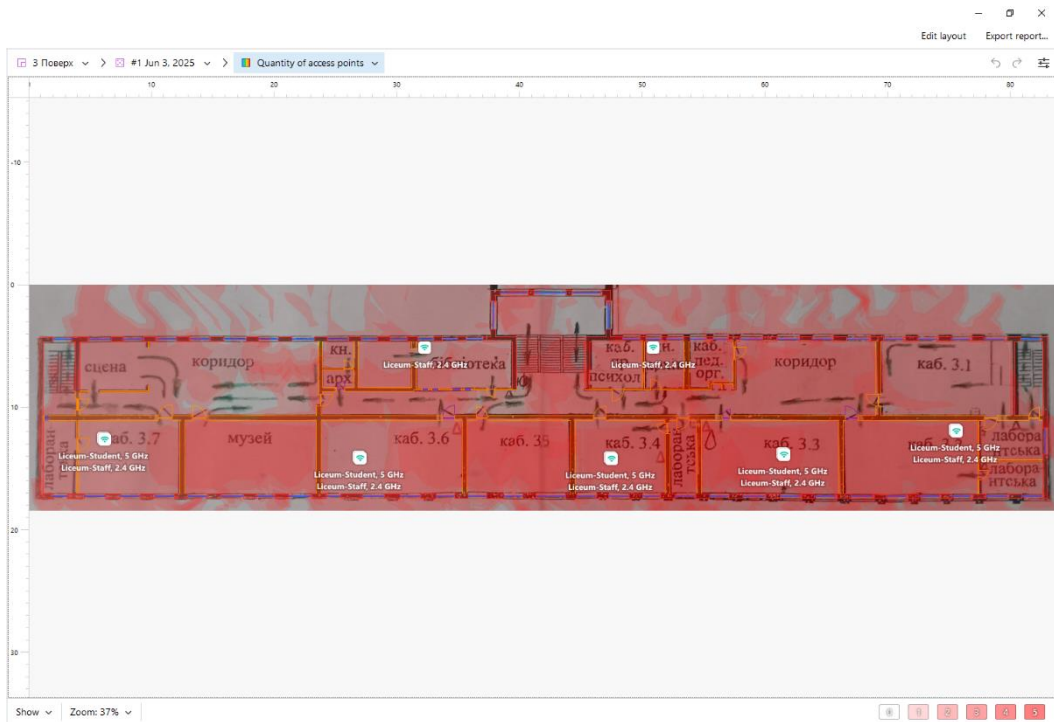
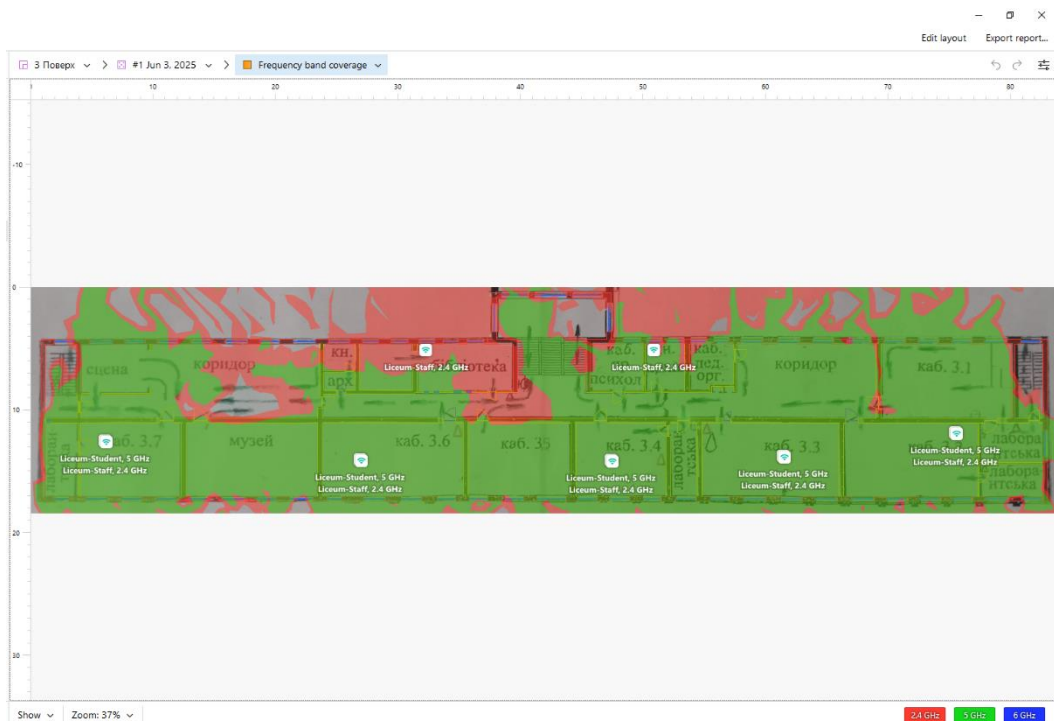
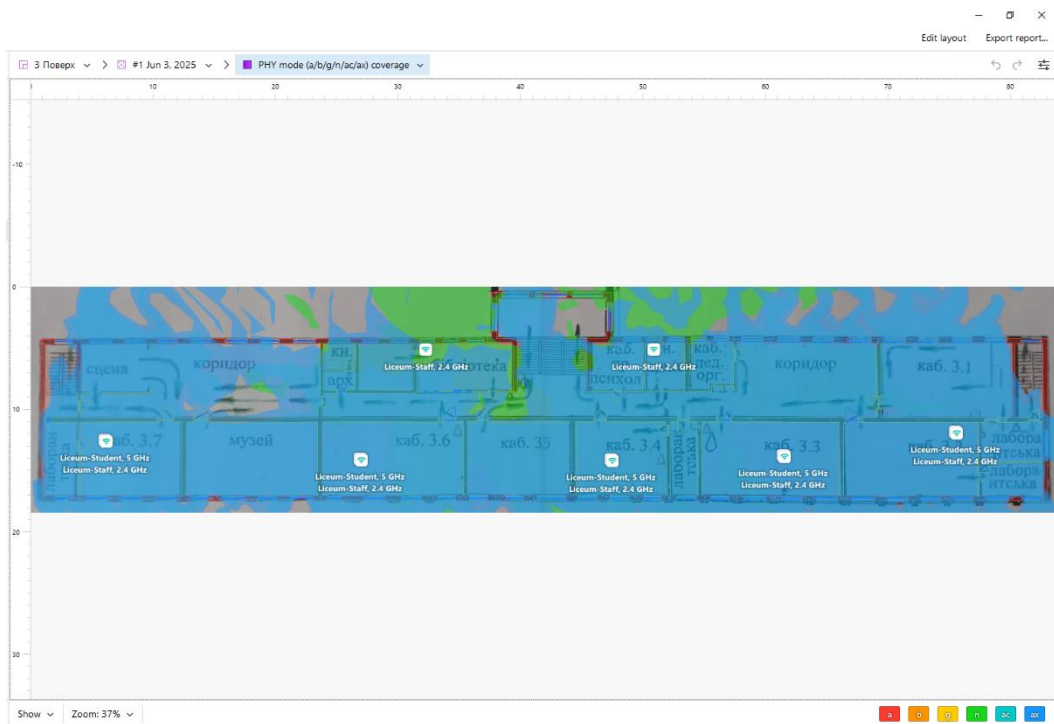


Рисунок Б.18 – Frequency band coverage (3 поверх)



**Рисунок Б.19 – PHY mode (a/b/g/n/ac/ax) coverage (3 поверх)**



**Рисунок Б.20 – Low signal level (3 поверх)**

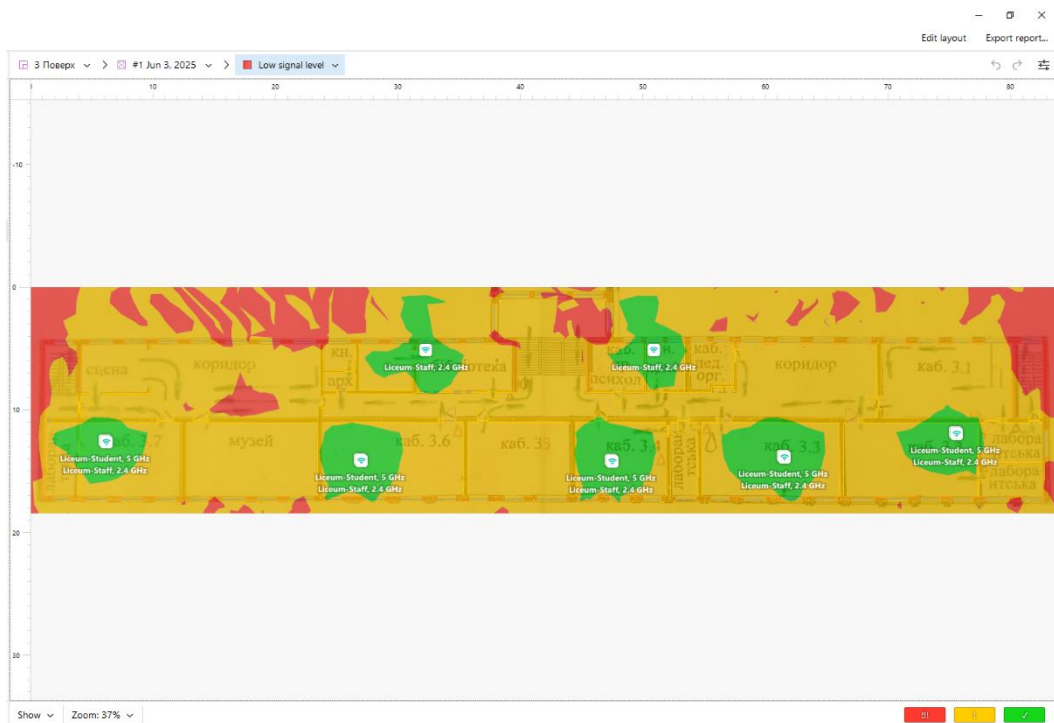


Рисунок Б.21 – Overlapping channels (SIR) (3 поверх)

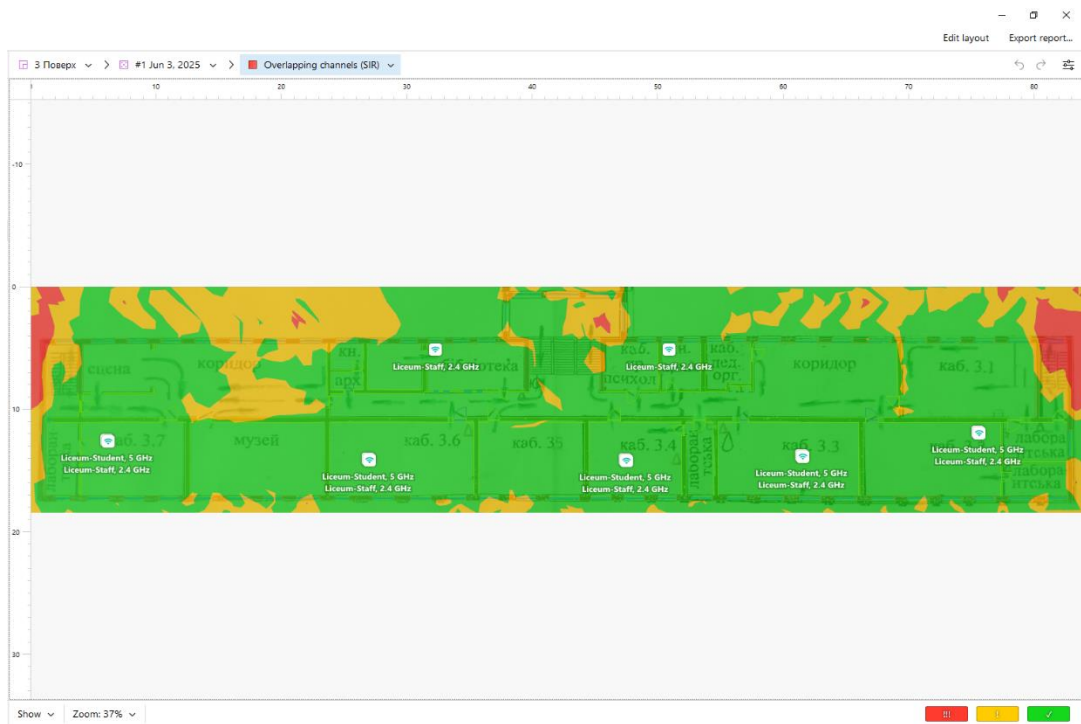
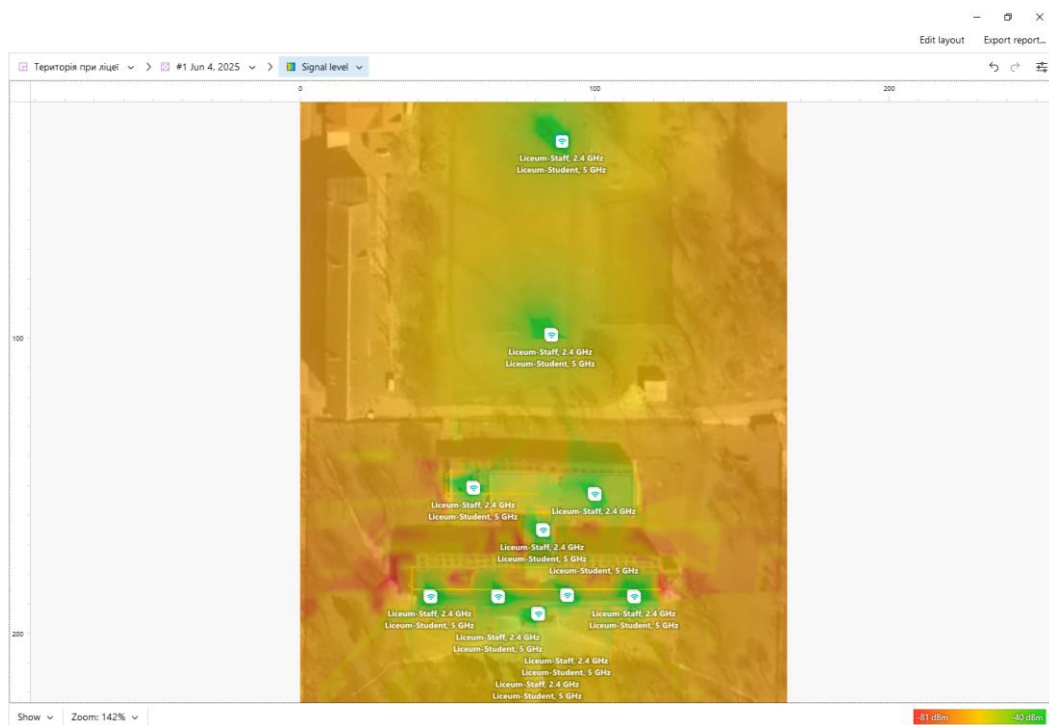
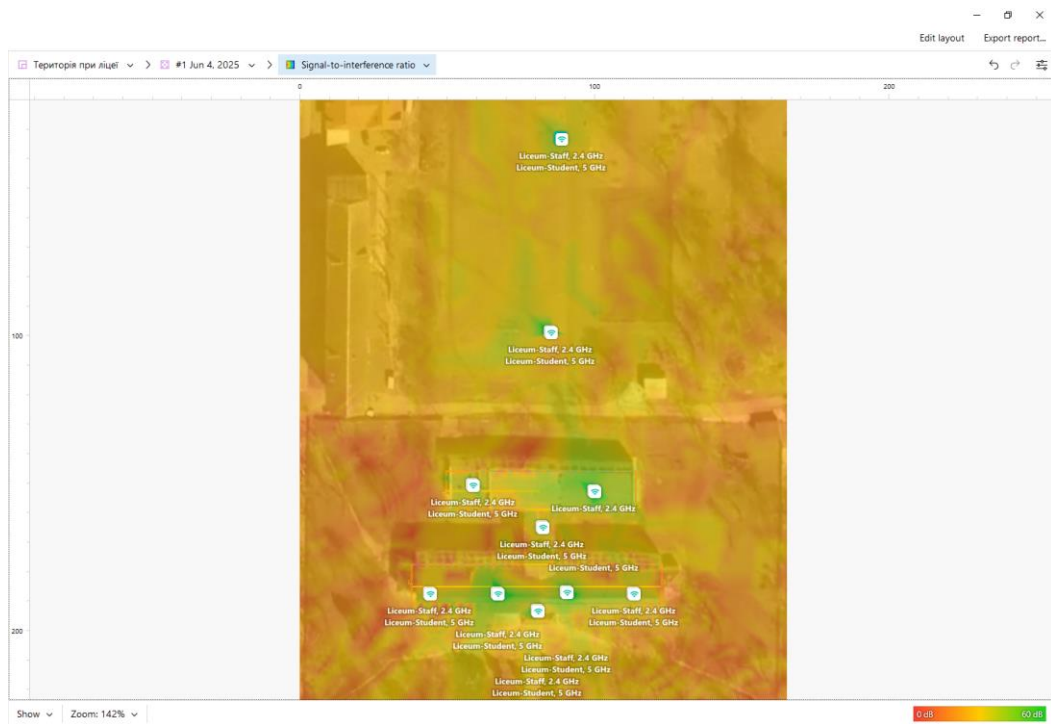


Рисунок Б.22 – Signal level (Територія при ліцеї)



**Рисунок Б.23 – Signal-to-interference ratio (Територія при ліцеї)**



**Рисунок Б.24 – Quantity of access points (Територія при ліцеї)**

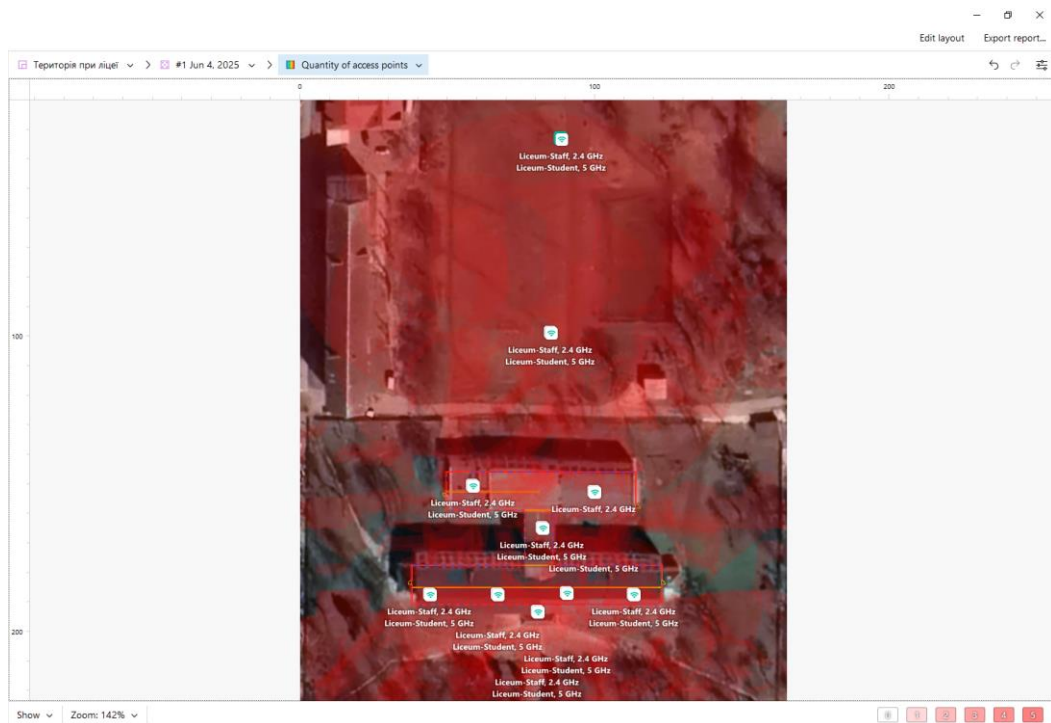


Рисунок Б.25 – Frequency band coverage (Територія при ліцеї)

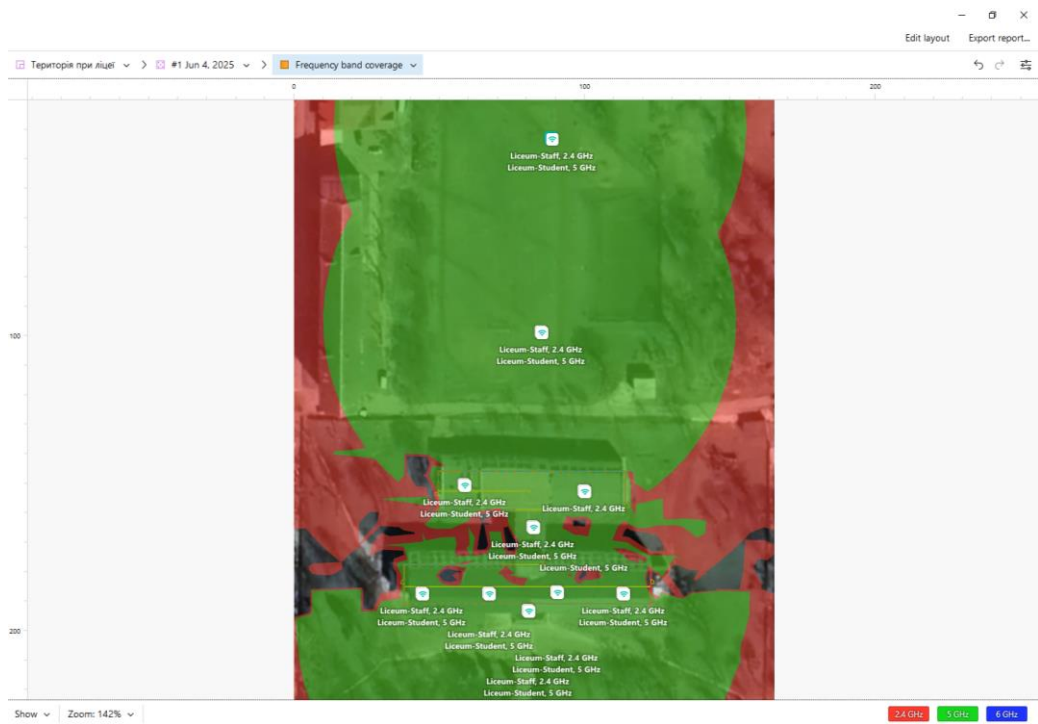
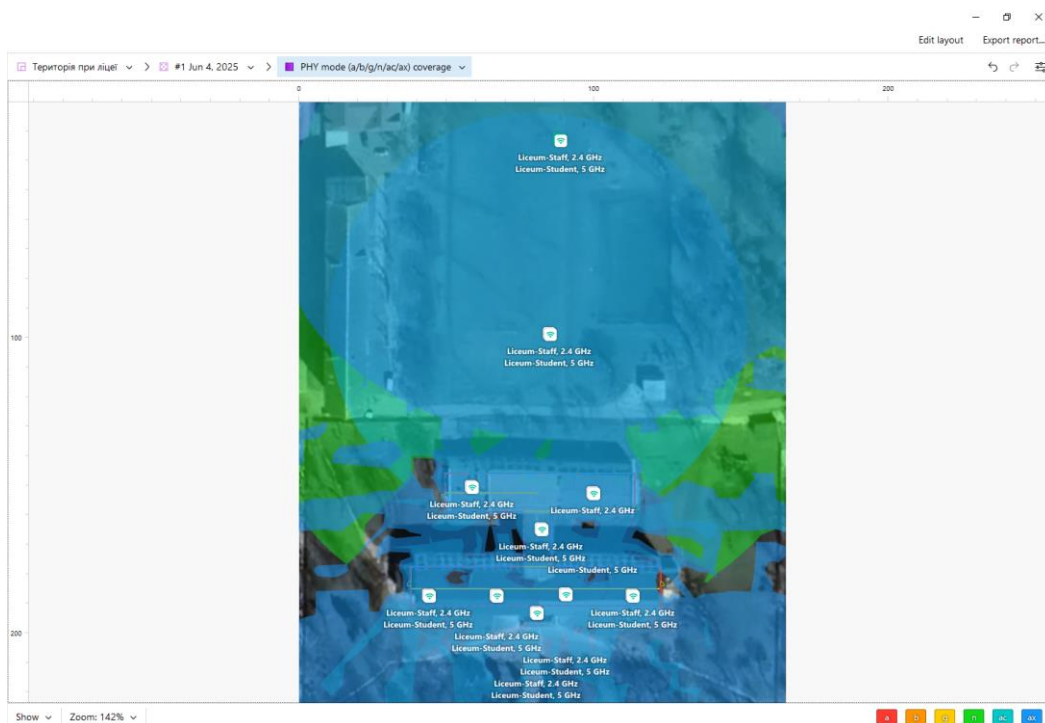
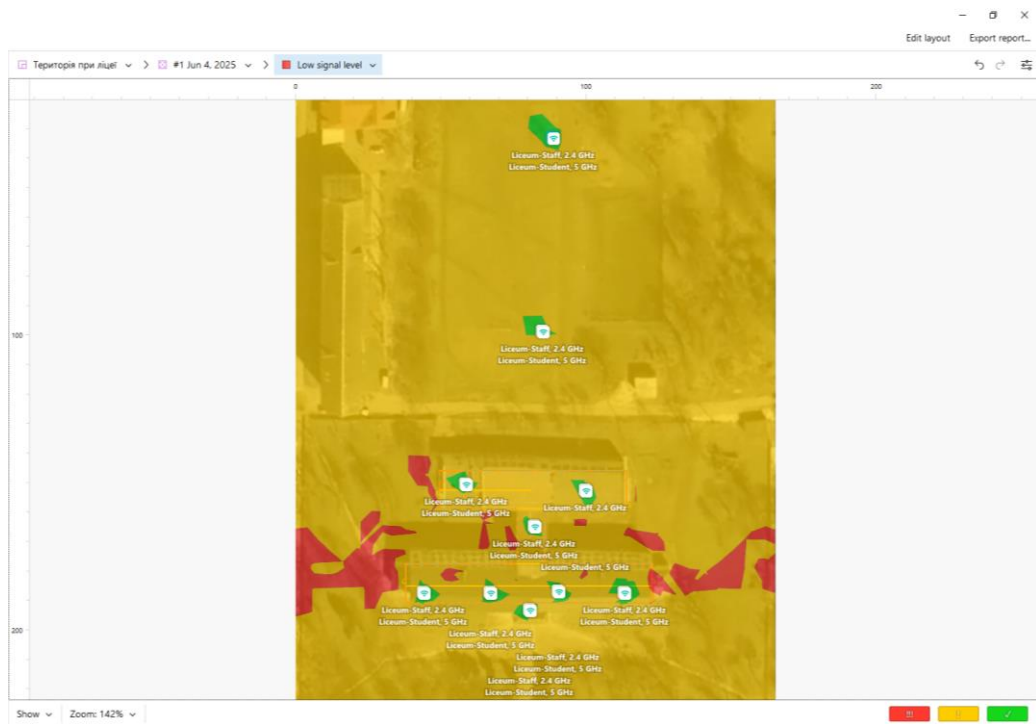


Рисунок Б.26 – PHY mode (Територія при ліцеї)



**Рисунок Б.27 – Low signal level (Територія при ліцеї)**



**Рисунок Б.28 – Overlapping channels (SR) (Територія при ліцеї)**

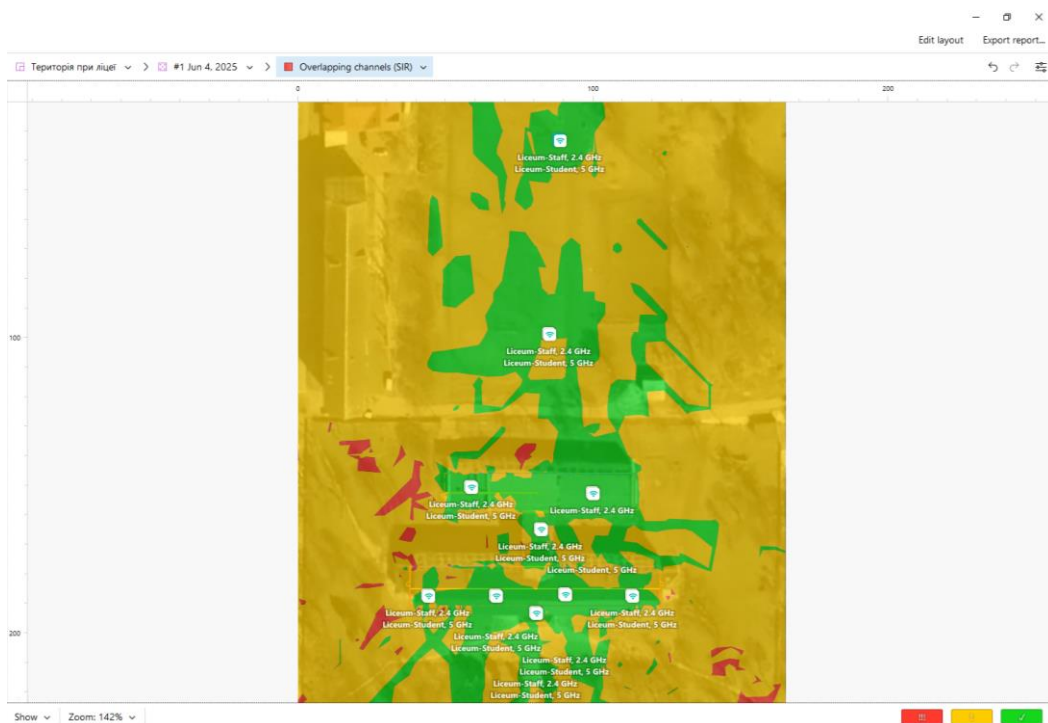


Рисунок В.1 – План першого поверху Калуського ліцею №5

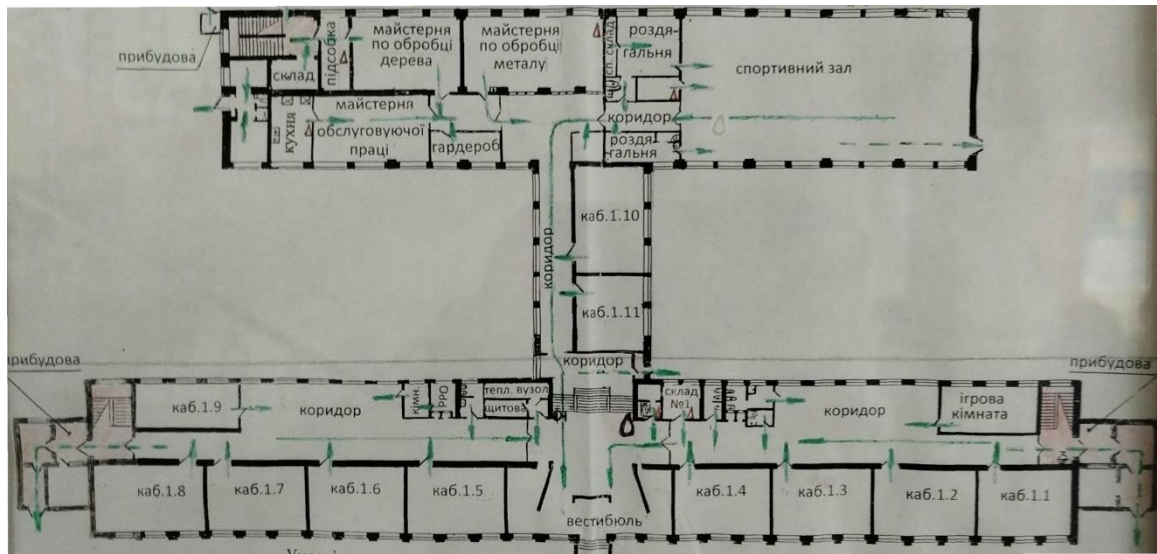


Рисунок В.2 – План другого поверху Калуського ліцею №5

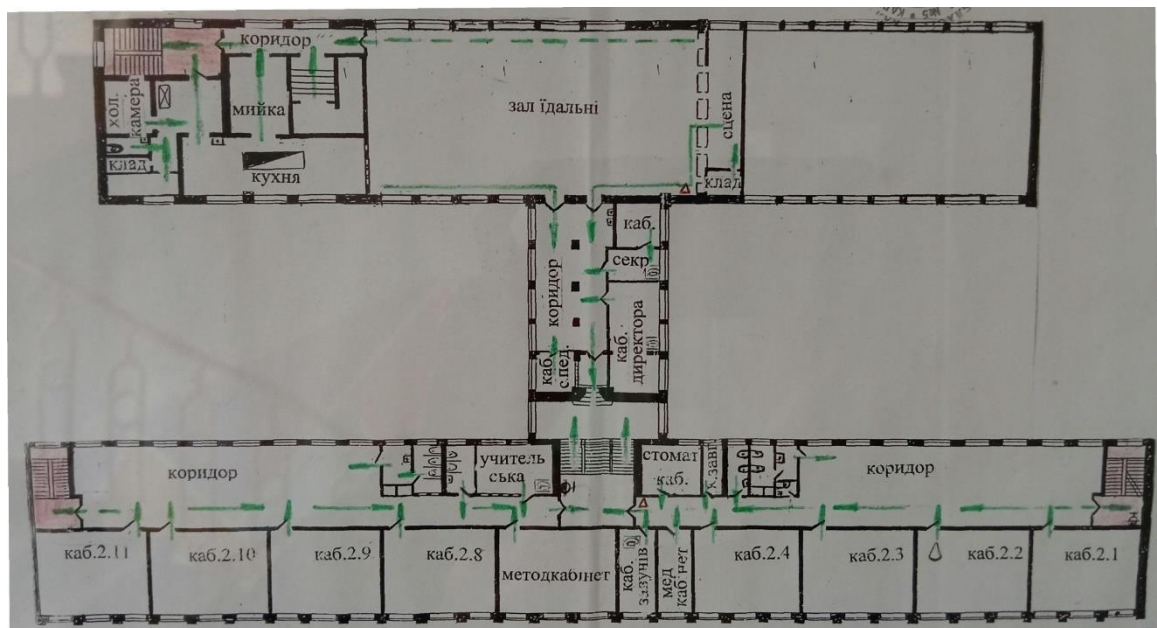
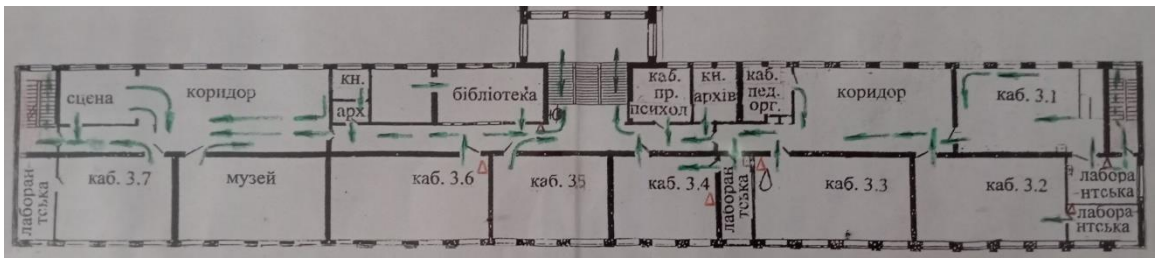


Рисунок В.3 – План третього поверху Калуського ліцею №5



Таблиця Г.1 – Технічна специфікація маршрутизатора TP-Link TL-

Параметр	Значення
Модель	TP-Link TL-WR841N
Призначення	Домашній/офісний маршрутизатор
Швидкість портів	Fast Ethernet (до 100 Мбіт/с)
Кількість LAN портів	4
Кількість WAN портів	1
Підтримка стандартів Wi-Fi	IEEE 802.11b/g/n
Максимальна швидкість Wi-Fi	до 300 Мбіт/с
Діапазон частот	2.4 ГГц
Тип антен	Зовнішні незнімні
Кількість антен	2
Підтримка VLAN	Відсутня
Наявність PoE	Відсутня
Тип живлення	9В/0.6А (адаптер)
Додаткові функції	NAT, DHCP-сервер, фільтрація MAC/IP, режим WDS, батьківський контроль

Таблиця Г.2 – Технічна специфікація комутатора TP-Link TL-SF1024D

Параметр	Значення
Модель	TP-Link TL-SF1024D
Тип пристрою	24-портовий 10/100 Мбіт/с комутатор
Інтерфейси	24 × 10/100 Мбіт/с RJ45 порти
Мережеві медіа	UTP cat. 3, 4, 5, 5e
Протоколи	IEEE 802.3i/u/x
Метод передачі	Store-and-Forward
Буфер	2 МБ
MAC-адрес	8К
Пропускна здатність	4.8 Гбіт/с
Живлення	9 В DC / 0.6 А
Розміри	294 × 180 × 44 мм
Монтаж	Настільний або 13" стійка
Вентилятор	Fanless
Сертифікація	FCC, CE, RoHS

Таблиця Г.3 – Технічна специфікація комутатора D-Link DES-1016D

Параметр	Значення
Модель	D-Link DES-1016D
Тип пристрою	16-портовий 10/100 Мбіт/с комутатор
Інтерфейси	16 × 10/100 Мбіт/с RJ45 порти
Протоколи	IEEE 802.3/u/x
Метод передачі	Store-and-Forward
Буфер	512 КБ
MAC-адрес	8К
Пропускна здатність	3.2 Гбіт/с
Живлення	100–240 В AC
Розміри	280 × 125 × 44 мм
Монтаж	Настільний або стійковий
Вентилятор	Fanless

Таблиця Г.4 – Технічна специфікація точки доступу TP-Link EAP225 V5

Параметр	Значення
Модель	TP-Link EAP225 V5
Стандарти Wi-Fi	802.11a/b/g/n/ac
Діапазони частот	2.4 ГГц і 5 ГГц
Швидкість передачі даних	5 ГГц: до 867 Мбіт/с, 2.4 ГГц: до 300 Мбіт/с
Антени	2 × внутрішні всеспрямовані
Живлення	24V пасивне PoE або 802.3af PoE
PoE	Так (802.3af)
Макс. споживана потужність	12.7 Вт
Підтримка VLAN	Так
MU-MIMO	2×2 MU-MIMO
Монтаж	Стеля / стіна
Робоча температура	0°C ~ 40°C
Захист	WPA/WPA2/WPA3, фільтрація MAC-адрес, ізоляція клієнтів
Керування	Omada SDN (хмарне/локальне)
Розміри	180 × 180 × 47.5 мм

Таблиця Г.5 – Технічна специфікація точки доступу TP-Link EAP620 HD V2

Параметр	Значення
Модель	TP-Link EAP620 HD V2
Стандарти Wi-Fi	802.11a/b/g/n/ac/ax (Wi-Fi 6)
Діапазони частот	2.4 ГГц і 5 ГГц
Швидкість передачі даних	5 ГГц: до 1201 Мбіт/с, 2.4 ГГц: до 574 Мбіт/с
Антени	4 × внутрішні всеспрямовані
Живлення	802.3at PoE+
PoE	Так (802.3at)
Макс. споживана потужність	16.5 Вт
Підтримка VLAN	Так
MU-MIMO	4×4 MU-MIMO
Монтаж	Стеля / стіна
Робоча температура	0°C ~ 40°C
Захист	WPA/WPA2/WPA3, фільтрація MAC-адрес
Керування	Omada SDN
Розміри	243 × 243 × 64 мм

Таблиця Г.6 – Технічна специфікація точки доступу TP-Link EAP225-  
Outdoor V3

Параметр	Значення
Модель	TP-Link EAP225-Outdoor V3
Стандарти Wi-Fi	802.11a/b/g/n/ac
Діапазони частот	2.4 ГГц і 5 ГГц
Швидкість передачі даних	5 ГГц: до 867 Мбіт/с, 2.4 ГГц: до 300 Мбіт/с
Антени	2 × знімні всеспрямовані
Живлення	Passive PoE (24 В)
PoE	Так (Passive PoE)
Макс. споживана потужність	10.5 Вт
Підтримка VLAN	Так
MU-MIMO	2×2 MU-MIMO
Монтаж	Стіна / щогла
Робоча температура	-30°C ~ 70°C
Захист	IP65, WPA/WPA2, ACL
Керування	Omada SDN
Розміри	215 × 46 × 27 мм

**Таблиця Г.7 – Технічна специфікація точки доступу TP-Link EAP610-  
Outdoor V1.20**

<b>Параметр</b>	<b>Значення</b>
<b>Модель</b>	TP-Link EAP610-Outdoor V1.20
<b>Стандарти Wi-Fi</b>	802.11a/b/g/n/ac/ax (Wi-Fi 6)
<b>Діапазони частот</b>	2.4 ГГц і 5 ГГц
<b>Швидкість передачі даних</b>	5 ГГц: до 1201 Мбіт/с, 2.4 ГГц: до 574 Мбіт/с
<b>Антени</b>	2 × всеспрямовані (зовнішні)
<b>Живлення</b>	802.3at PoE+
<b>PoE</b>	Так (802.3at)
<b>Макс. споживана потужність</b>	16.1 Вт
<b>Підтримка VLAN</b>	Так
<b>MU-MIMO</b>	2×2 MU-MIMO
<b>Монтаж</b>	Стіна / щогла
<b>Робоча температура</b>	-30°C ~ 70°C
<b>Захист</b>	IP67, WPA3, ACL
<b>Керування</b>	Omada SDN
<b>Розміри</b>	215 × 46 × 27 мм

**Таблиця Г.8 – Технічна специфікація комутатора TP-Link TL-SG1210MP**

<b>Параметр</b>	<b>Значення</b>
<b>Модель</b>	TP-Link TL-SG1210MP
<b>Інтерфейси</b>	9 × Gigabit RJ45, 1 × Gigabit SFP Combo
<b>Стандарти</b>	IEEE 802.3i/u/ab/x/af/at
<b>PoE-порти</b>	8 × RJ45 з PoE+ (802.3af/at) до 30 Вт/порт
<b>Бюджет PoE</b>	123 Вт
<b>Метод передачі</b>	Store-and-Forward
<b>MAC-таблиця</b>	4К
<b>Пропускна здатність</b>	20 Гбіт/с
<b>Розміри</b>	209 × 126 × 26 мм
<b>Керування</b>	Unmanaged (Plug and Play)

Таблиця Г.9 – Технічна специфікація комутатора TP-Link TL-SG1218MPE

Параметр	Значення
Модель	TP-Link TL-SG1218MPE
Інтерфейси	16 × Gigabit RJ45 PoE+, 2 × Gigabit SFP
Стандарти	IEEE 802.3i/u/ab/x/af/at
PoE-порти	16 × RJ45 з PoE+ (802.3af/at) до 30 Вт/порт
Бюджет PoE	192 Вт
Метод передачі	Store-and-Forward
MAC-таблиця	8К
Пропускна здатність	36 Гбіт/с
Керування	Easy Smart (web UI, VLAN, QoS)
Монтаж	Стійковий 19"

Таблиця Г.10 – Технічна специфікація маршрутизатора TP-Link ER605

Параметр	Значення
Модель	TP-Link ER605
WAN-порти	1 × WAN + 2 × WAN/LAN
LAN-порти	1 × LAN + 2 × WAN/LAN
Пропускна здатність NAT	940 Мбіт/с
VPN	IPSec, PPTP, L2TP, OpenVPN
Пропускна здатність VPN	150 Мбіт/с (IPSec)
Керування	Omada SDN, локальний, хмарний
Живлення	12 В / 1 А
Розміри	160 × 98 × 25 мм
Монтаж	Настільний або настінний

Таблиця Г.11 – Технічна специфікація контролера TP-Link OC200

Параметр	Значення
Модель	TP-Link OC200
Процесор	Qualcomm IPQ4019 @717 MHz
Інтерфейси	2 × 10/100 Mbps RJ45
Пам'ять	4 ГБ eMMC Flash
Живлення	PoE 802.3af або micro USB
Керування	Omada SDN, web/cloud/mobile
Підтримка пристроїв	до 100 точок доступу/маршрутизаторів
Розміри	100 × 98 × 25 мм
Монтаж	Настільний або настінний
Температура	0°C~40°C

Таблиця Г.12 – Основні характеристики ноутбука Acer Aspire 3 A315-58-553J

Параметр	Значення
Процесор	Intel Core i5-1135G7 (4×2.4–4.2 ГГц)
Оперативна пам'ять	16 ГБ DDR4
Накопичувач	SSD 1 ТБ
Операційна система	Windows 10 Pro
Розмір дисплея	15.6" IPS, 1920×1080

Таблиця Г.13 – Характеристики бездротового адаптера Intel Wi-Fi 6 AX201

Параметр	Значення
Тип модуля	Intel Wi-Fi 6 AX201
Інтерфейс підключення	M.2 (CNVi)
Стандарти підтримки	802.11 a/b/g/n/ac/ax
Частотні діапазони	2.4 ГГц / 5 ГГц
Максимальна швидкість передачі	до 2.4 Гбіт/с
Підтримка технологій	MU-MIMO, OFDMA, 1024-QAM
Технології безпеки	WPA3, WPA2, 802.1x
Підтримка Bluetooth	Так, версія 5.1
Підтримка Linux/Windows	Так

## БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: *Оптимізація покриття безпроводної мережі Wi-Fi Калуського ліцею №5 засобами програми NetSpot*

Обсяг пояснювальної записки 59 аркушів:

12 таблиць;

25 рисунків;

4 додаток.

Дата завершення роботи: 9 червня 2025р.

Підпис студента- \_\_\_\_\_Гундерчук А.П..