

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬ НАВЧАЛЬНИХ
ЗАКЛАДІВ ПРИ ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ**

Виконала: студентка 2-го курсу, групи 1Б-24м
спеціальності 192 – «Будівництво
та цивільна інженерія»

Слюсар І.О.
Керівник: к.т.н., доцент каф. БМГА

Бондар А.В.
«12» грудня 2025 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. ІСБ
Панкевич О.Д.

«12» грудня 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри БМГА

В.В. Швець
«10» грудня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 19 – Архітектура та будівництво
Спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма Промислове та цивільне будівництво



ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Слюсар Ірині Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ПРИ ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ

керівник роботи Бондар Альона Василівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "24" 09 2025 року №313.

2. Строк подання магістрантом роботи 01.12.2025 р.

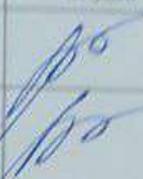
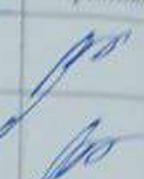
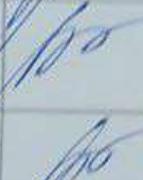
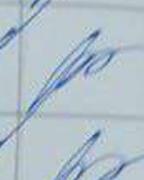
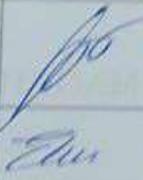
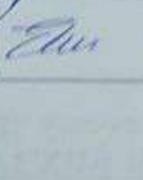
3. Вихідні дані до роботи: нормативна література, результати обстежень та досліджень, фрагмент ситуаційного плану, карта місцевості

4. Зміст текстової частини: Вступ (актуальність наукових досліджень, об'єкт, предмет, мета і задачі, новизна, практичне значення, апробація), Розділ 1 Аналіз сучасного стану питання (Сучасні підходи до екологічності при реконструкції навчальних закладів, Архітектурно-конструктивні чинники теплової ефективності, Оцінка екологічного потенціалу реконструкції навчальних закладів на основі аналітичних показників, Висновки до розділу 1), Розділ 2 Дослідження екологічності будівлі навчального закладу (Характеристика об'єкта дослідження та постановка задачі, Методологічні засади екологічної оцінки будівлі, Програма та методи інструментальних вимірювань, Числове моделювання параметрів будівлі, Результати інструментальних вимірювань, Розрахунок інтегрального показника екологічності будівлі, Висновки до розділу 2), Розділ 3 Аналіз результатів дослідження та оцінка екологічного ефекту реконструкції 3.1 Аналіз мікрокліматичних параметрів навчальних приміщень (Аналіз теплотехнічних характеристик на основі числового моделювання, Світлотехнічний аналіз ефективності реконструкції, Вплив озеленення фасаду на теплотехнічний, вологісний та сонячно радіаційний режим огорожувальних конструкцій, Аналіз конструктивної роботи покрівлі після озеленення, Інтегральна оцінка екологічності будівлі та вплив зеленої оболонки, Висновки до розділу 3), Розділ 4 Технічна частина (Рішення генерального плану, Об'ємно-планувальні рішення будівлі школи до та після реконструкції, Архітектурно-конструктивні рішення будівлі школи до та після реконструкції, Схеми озеленення, Організаційно-технологічні рішення, Галузь застосування технологічної карти, Організація і технологія виконання робіт, Калькуляція трудовитрат, Контроль якості виконання робіт, Охорона праці, Висновки до розділу 4), Розділ 5 Економічна частина, Висновки, Список використаних джерел, Додатки

5. Перелік ілюстративно-графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Науково-дослідний розділ – 5-7 арк. (плакати, що ілюструють результати

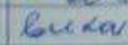
науково-дослідної роботи). 2. Архітектурно-будівельні рішення – 3-5 арк. (генеральний план архітектурно-будівельні рішення навчального закладу). 3. Організаційно-технологічні рішення – 1 арк. (Технологічна карта на утеплення, Календарний графік виконання робіт).

6. Консультанти розділів роботи

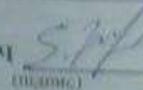
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання приймав
Вступ, науковий розділ 1-3	Бондар А.В., к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Архітектурно-будівельні та конструктивні рішення	Бондар А.В., к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Організаційно-технологічні рішення	Бондар А.В., к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 5. Економічна частина	Лялюк О.Г., к.т.н., доцент кафедри БМГА		

7. Дата видачі завдання 13.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Складання вступу до МКР	13.10-17.10.25	
2	Науково-дослідна частина	13.10-31.10.25	
3	Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту	03.11-14.11.25	
4	Організаційно-технологічні рішення	17.11-28.11.25	
5	Економічна частина	24.11-28.11.25	
6	Оформлення МКР	01.12-08.12.25	
7	Подання МКР на кафедру для перевірки	01.12-05.12.25	
8	Попередній захист	01.12-05.12.25	
10	Опонування	05.12-08.12.25	
11	Захист МКР	16.12-23.12.25	
12	Складання вступу до МКР	13.10-17.10.25	

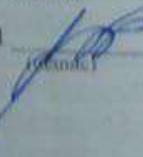
Здобувач


(підпис)

Слюсар І.О.

(прізвище та ініціал)

Керівник роботи


(підпис)

Бондар А.В.

(прізвище та ініціал)

АНОТАЦІЯ

УДК 721:692.43:712.2

Слюсар І. О., Підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». Вінниця: ВНТУ, 2025. 112 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 73 назв; рис.: 51; табл. 24; арк. граф. част.: 17.

Метою роботи є підвищення екологічності та енергоефективності будівель навчальних закладів шляхом упровадження зеленої покрівлі, озеленення фасадів, модернізації огорожувальних конструкцій та інженерних систем. У дослідженні виконано інструментальні вимірювання параметрів мікроклімату, шумового фону та енергоспоживання, а також проведено багаторівневе числове моделювання у середовищах COMSOL Multiphysics, DIALux та LIRA-SAPR.

Розділ 3 присвячено аналізу результатів теплотехнічного, світлотехнічного та конструктивного моделювання, що дозволило встановити суттєве зменшення тепловтрат, підвищення освітленості та забезпечення нормативної несучої здатності покрівлі після впровадження зеленої оболонки. Розроблено інтегральний індекс екологічності, за яким будівля після озеленення демонструє найкращі показники щодо енергозбереження, мікроклімату та скорочення вуглецевого сліду.

Розділ 4 присвячений проектним рішенням з реконструкції, включаючи архітектурно-планувальні заходи, модернізацію огорожувальних конструкцій, застосування енергоефективних матеріалів, удосконалення систем вентиляції та освітлення. Запропоновано комплекс заходів із зеленою покрівлею та вертикальним озелененням.

Розділ 5 охоплює техніко-економічне обґрунтування реконструкції.

Ключові слова: екологічність будівель; зелена покрівля; озеленення фасадів; енергоефективність; мікроклімат; теплотехнічне моделювання; реконструкція навчальних закладів.

ANNOTATION

Slyusar I. O., Improving the environmental friendliness of educational buildings during their reconstruction. Master's qualification work in specialty 192 – «Construction and civil engineering». Vinnytsia: VNTU, 2025. 112 p.

In Ukrainian. Bibliography: 73 titles; fig.: 51; tab. 24; sheet. graphic part.: 17.

The purpose of the work is to improve the environmental friendliness and energy efficiency of educational buildings by introducing green roofs, landscaping facades, modernization of enclosing structures and engineering systems. The study performed instrumental measurements of microclimate parameters, noise background and energy consumption, and also conducted multi-level numerical modeling in COMSOL Multiphysics, DIALux and LIRA-SAPR environments.

Section 3 is devoted to the analysis of the results of thermal, lighting and structural modeling, which allowed to establish a significant reduction in heat loss, increase in illumination and ensuring the normative bearing capacity of the roof after the implementation of the green envelope. An integral environmental index has been developed, according to which the building after greening demonstrates the best indicators in terms of energy saving, microclimate and carbon footprint reduction.

Section 4 is devoted to design solutions for reconstruction, including architectural and planning measures, modernization of enclosing structures, use of energy-efficient materials, improvement of ventilation and lighting systems. A set of measures with a green roof and vertical gardening is proposed.

Section 5 covers the feasibility study of the reconstruction.

Keywords: environmental friendliness of buildings; green roof; greening of facades; energy efficiency; microclimate; thermal modeling; reconstruction of educational institutions.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ	8
1.1 Екологічність будівель як підхід при реконструкції навчальних закладів	8
1.2 Стан сучасних навчальних закладів в Україні та їх реконструкція	10
1.3 Зарубіжний досвід	15
1.4 Оцінка екологічного потенціалу реконструкції навчальних закладів на основі аналітичних показників	22
Висновки до розділу 1	27
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ	28
2.1 Характеристика об'єкта дослідження та постановка задачі	28
2.2 Методологічні засади екологічної оцінки будівлі	29
2.3 Програма та методи інструментальних вимірювань	31
2.4 Числове моделювання теплотехнічних, світлотехнічних і конструктивних параметрів	33
2.5 Результати інструментальних вимірювань	33
2.5.1 Параметри мікроклімату	33
2.5.2 Параметр освітленості	35
2.5.3 Енергоспоживання будівлі	36
2.5.4 Вимірювання показників якості повітря	36
2.5.5 Акустичні показники	37
2.6 Розрахунок інтегрального показника екологічності будівлі	38
Висновки до розділу 2	41
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ РЕКОНСТРУКЦІЇ	42
3.1 Аналіз мікрокліматичних параметрів навчальних приміщень	42

3.2 Аналіз теплотехнічних характеристик на основі числового моделювання	45
3.3 Світлотехнічний аналіз ефективності реконструкції	50
3.4 Вплив озеленення фасаду на теплотехнічний, вологісний та сонячно-радіаційний режим огорожувальних конструкцій	52
3.5 Аналіз конструктивної роботи покрівлі після озеленення	58
3.6 Інтегральна оцінка екологічності будівлі та вплив зеленої оболонки	60
Висновки до розділу 3	66
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	68
4.1 Рішення генерального плану	68
4.2 Архітектурно-будівельні рішення	71
4.3 Технологічні рішення	79
4.3.1 Загальні дані	79
4.3.2 Вказівки до виконання робіт	81
4.3.3 Контроль якості робіт	83
4.3.4 Техніка безпеки та охорона праці	84
Висновки до розділу 4	86
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	87
5.1 Кошторисна вартість зеленого фасаду та зеленої покрівлі	87
5.2 Обґрунтування ефективності проектних рішень	88
Висновки до розділу 5	99
ВИСНОВКИ	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	102
ДОДАТКИ	112
Додаток А Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	113
Додаток Б Відомість графічної частини МКР	114

ВСТУП

Актуальність. Сучасні тенденції розвитку будівництва передбачають переорієнтацію проєктних підходів у бік екологізації, підвищення енергоефективності та забезпечення комфортного мікроклімату в будівлях. Навчальні заклади, як об'єкти з інтенсивним і тривалим перебуванням людей, потребують особливої уваги до енергетичних характеристик, санітарно-гігієнічних показників та екологічної стійкості їх експлуатації. Значна частина шкільних будівель України була зведена за застарілими нормами теплового захисту, не відповідає сучасним вимогам щодо енергоощадності та не забезпечує оптимальних умов перебування учасників освітнього процесу.

Енергоефективна реконструкція цих споруд є одним з ключових напрямів державної політики у сфері модернізації житлово-комунального господарства та освітньої інфраструктури. Проте традиційні підходи до термомодернізації, орієнтовані переважно на збільшення товщини утеплювача та заміну вікон, не враховують потенціал природних екологічних рішень, таких як зелені покрівлі та озеленені фасади. Застосування зеленої оболонки будівлі може не лише підвищити теплову інерційність та зменшити перегрів, але й поліпшити локальний мікроклімат, знизити шумове навантаження, підвищити біорізноманіття та зменшити вуглецевий слід [1, 2].

У світовій практиці зелені покрівлі та вертикальне озеленення активно впроваджуються як елемент концепції стійкого розвитку (sustainable development) та зеленої архітектури (green building) [1, 2]. Однак в Україні застосування таких систем у реконструкції навчальних закладів є обмеженим через недостатність методичних рекомендацій, відсутність комплексних теплотехнічних, світлотехнічних і конструктивних досліджень та нестачу даних про їх екологічний ефект.

Вказане зумовлює необхідність проведення системного дослідження, яке охоплює натурні вимірювання, числове моделювання та аналіз

екологічних показників до і після реконструкції будівлі навчального закладу із застосуванням зеленої оболонки.

Метою роботи є підвищення екологічності та енергоефективності будівель навчальних закладів шляхом обґрунтування та впровадження зеленої покрівлі, озелененого фасаду та вдосконалених огорожувальних конструкцій.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі **завдання дослідження**:

- проаналізувати сучасні наукові та нормативні підходи до вибору екологічних рішень для реконструкції будівель;
- виконати натурні вимірювання параметрів мікроклімату, шумового фону та освітленості;
- провести числове моделювання теплотехнічних, світлотехнічних та конструктивних характеристик будівлі із застосуванням програмних комплексів;
- оцінити вплив зеленої покрівлі та озелененого фасаду на тепловий режим зовнішнього огородження;
- розробити інтегральний індекс екологічності будівлі та провести порівняння трьох сценаріїв: до реконструкції, після традиційної термомодернізації та при застосуванні зеленої оболонки;
- сформулювати комплекс проєктних рішень для реконструкції навчального закладу із застосуванням природоорієнтованих технологій та оцінити техніко-економічну ефективність реконструкції.

Об’єкт дослідження – будівля навчального закладу в умовах реконструкції.

Предмет дослідження – екологічні, теплотехнічні, світлотехнічні та конструктивні показники будівлі при застосуванні зеленої оболонки.

Методи дослідження включають інструментальні вимірювання мікрокліматичних параметрів, комп’ютерне моделювання у програмних комплексах COMSOL Multiphysics, DIALux і LIRA-SAPR, порівняльний

аналіз технічних рішень, еколого-енергетичне оцінювання та математичне моделювання інтегрального індексу екологічності.

Новизна роботи полягає в комплексному підході до оцінки екологічності будівлі навчального закладу, який одночасно враховує теплові, світлотехнічні, конструктивні та екологічні характеристики. Сформовано інтегральний індекс екологічності для порівняння різних сценаріїв реконструкції та обґрунтовано доцільність використання зеленої оболонки як елементу підвищення енергоефективності та комфортності навчальних будівель.

Практичне значення результатів полягає у можливості впровадження розроблених рішень у реальних проєктах реконструкції навчальних закладів, використанні методики моделювання для енергоаудиту та оптимізації огорожувальних конструкцій, а також у зменшенні експлуатаційних витрат і покращенні умов перебування учнів та персоналу.

Особистий внесок магістранта: усі результати, наведені у магістерській кваліфікаційній роботі, отримані самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать такі:

[1] – огляд конструктивних особливостей влаштування зелених дахів та фасадних систем озеленення;

[2] – представлено проєкт реконструкції шкільної будівлі з впровадженням зеленої покрівлі та вертикальних озелених фасадів як засобів підвищення енергоефективності й екологічної стійкості.

Апробація результатів роботи. За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 2 тези конференції [1, 2] та підготовлено виступ на Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2025», яка відбулася у ВНТУ 19-21.11.2025 р.

Публікації:

За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 тезу конференцій:

1. Слюсар І. О., Коваль А. І., Бондар А. В. Конструктивні особливості влаштування зелених дахів та фасадів. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційні технології в будівництві-2024», Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 20.11.2024 – 22.11.2024 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/viewFile/22594/18689>

2. Слюсар І. О., Бондар А. В. Зелені покрівлі та фасади як засіб підвищення екологічності та енергоефективності будівель навчальних закладів. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2025», Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 19.11.2025 – 21.11.2025 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26310/21693>

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Екологічність будівель як підхід при реконструкції навчальних закладів

Екологічність будівель, або «зелене будівництво» – це підхід до проєктування, будівництва та експлуатації будівель, який мінімізує їхній негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людей, основною метою якого є створення гармонійного та стійкого архітектурно-ландшафтного середовища [1]. Фундаментальні принципи цього підходу включають енергоефективність, раціональне використання ресурсів, застосування екологічно-чистих матеріалів та зменшення відходів. Одним із найбільш ефективних і візуально привабливих інструментів реалізації цих принципів є впровадження зелених покрівель та фасадів [2]. Таким чином, архітектурно-планувальна структура будівлі враховує кліматичні умови та використовує природні ресурси і відновлювальні джерела енергії, щоб зменшити негативний вплив на довкілля та скоротити споживання енергії, яка виробляється шляхом спалювання вуглеводного палива [3, 4].

Сучасні міста дедалі більше стикаються з екологічними проблемами, що виникають через інтенсивну урбанізацію та скорочення площ озеленення. Замість природних зелених зон збільшується частка твердого покриття – асфальту, бетону та тротуарної плитки, такі матеріали активно поглинають і накопичують тепло протягом дня, а вночі повільно його віддають, створюючи так званий тепловий острів міста [1]. У районах із мінімальною кількістю дерев температура повітря може бути на 5–10 °С вищою, ніж у природних або озелених зонах. У містах з великою кількістю твердих поверхонь температура може бути на кілька градусів вищою, що не лише знижує комфорт проживання, але й збільшує енергоспоживання на кондиціонування будівель у літній період. Нестача зелених насаджень також погіршує здатність міста

поглинати вуглекислий газ, фільтрувати пил та регулювати вологість [5]. Тому розвиток системи міського озеленення – висадка дерев, створення парків, зелених дахів, вертикальних садів – є важливою умовою покращення екологічного стану міста, формування комфортного мікроклімату та підвищення якості життя населення [6].

Екологічність будівель у сучасній практиці реконструкції навчальних закладів набула значення комплексної інженерно-будівельної концепції, спрямованої на зменшення техногенного навантаження, раціональне використання ресурсів та створення здорового освітнього середовища. [1,2] На відміну від традиційного підходу, де реконструкція обмежувалася відновленням технічного стану огорожувальних конструкцій, екологічно орієнтоване будівництво розглядає будівлю як елемент міської екосистеми, що здатний активно впливати на тепловий баланс, акустичний режим, санітарно-гігієнічні показники та комфорт користувачів.

У контексті навчальних закладів екологічність будівлі охоплює не лише показники енергоефективності, але й формування стабільного мікроклімату, покращення внутрішньої якості повітря, зниження рівня шумового та вібраційного навантаження, а також створення просторового середовища, яке позитивно впливає на психологічний стан учнів. [6] Саме тому при реконструкції дедалі частіше застосовуються рішення, що ґрунтуються на інтеграції природних елементів у структуру будівлі – зелених покрівель, вертикального озеленення, експлуатованих дахів, зон інфільтрації та біотехнічних систем регуляції мікроклімату.

З точки зору інженерної практики будівництва, важливою складовою екологічності є взаємодія слабких та інженерно-посилених ланок конструктивної системи з рослинними шарами. Зелений дах чи фасад виступає додатковим теплоізоляційним бар'єром, рівномірно розподіляє сонячне навантаження, захищає гідроізоляцію від УФ-випромінювання та подовжує термін служби покриття. За результатами досліджень, температуру поверхні покрівлі в літній період можна знизити на 30–35 °С, а річне енергоспоживання

будівлі – на 20–30 %, що підтверджує ефективність таких рішень для освітніх закладів, де режим експлуатації передбачає значне теплове навантаження упродовж року.

Таким чином, екологічність у реконструкції навчальних будівель є не лише архітектурною або декоративною складовою, а інженерно обґрунтованим інструментом підвищення ефективності функціонування будівлі, її довговічності та комфортності експлуатації.

Для вирішення цих проблем сучасні урбаністичні підходи та екологічні стратегії рекомендують інтегровані рішення, одними з яких є зелені фасади та зелені покрівлі [8]. Ці заходи допомагають компенсувати малу площу традиційного озеленення та знижують негативний вплив твердих поверхонь, роблячи міста більш стійкими та комфортними для життя [5].

1.2 Стан сучасних навчальних закладів в Україні та їх реконструкція

Стан сучасних шкіл в Україні свідчить про значну потребу в модернізації та реконструкції, адже більшість будівель були зведені ще в радянський період за типовими проектами, які не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, екологічності та комфорту освітнього середовища [10]. Більшість навчальних закладів мають застарілі фасади, слабку теплоізоляцію, значні тепловтрати через стіни, покрівлі та віконні конструкції, а також неефективні системи опалення й вентиляції, що призводить до надмірного споживання енергоресурсів [9, 11].

Системний аналіз технічного стану навчальних будівель засвідчує, що теплова надійність огорожувальних конструкцій у більшості випадків є недостатньою для сучасних експлуатаційних умов. Багато шкіл проектувалися з розрахунком на інші нормативні теплотехнічні показники, тому їх стіни, перекриття та покрівлі сьогодні не забезпечують необхідного термічного опору. Застарілі за конструкцією фасади та дахи мають слабо виражені властивості щодо акумуляції тепла та регуляції вологи. У результаті в зимовий

період виникають значні тепловтрати, а влітку – перегрів приміщень, що створює додаткові навантаження на системи вентиляції й кондиціонування.

Переважає кількість навчальних закладів, зведених у радянський період, характеризується типовою забудовою з недостатньо продуманими або малими прилеглими територіями, де озеленення часто є мінімальним або відсутнім [9, 10]. Психологічне сприйняття такої архітектури не завжди задовільне: монотонні фасади, асфальтовані подвір'я та обмежений доступ до якісного зеленого простору негативно впливають на емоційний стан, рівень стресу та загальний комфорт учнів та викладачів [10]. Урбанізація та щільна забудова міст лише посилюють цю проблему, зменшуючи можливості для розширення традиційних пришкільних територій.

Окремо слід відзначити проблему відсутності екологічно активних зон у структурі пришкільних територій. Через ущільнення міської забудови рекреаційні простори часто зведено до мінімуму, а тверді покриття займають більшу частину площі. Це сприяє формуванню локальних теплових островів та погіршенню мікроклімату. У таких умовах зелена покрівля або вертикальний фасад можуть виступати єдиними джерелами природної терморегуляції та очищення повітря.

У процесі реконструкції важливо враховувати не тільки оновлення інженерних систем, а й реорганізацію використання простору шляхом повернення будівлі до природно орієнтованих характеристик. Використання покрівлі як простору для озеленення або розміщення рекреаційних зон сприяє збільшенню коефіцієнта зелених насаджень на території школи та розширює можливості організації уроків на відкритому повітрі.

Таким чином, сучасна реконструкція навчальних закладів має трансформувати їх у будівлі, здатні одночасно забезпечувати високу енергоефективність, безпечний мікроклімат та екологічно збалансоване середовище.

Проблема обмеженої прилеглої території є характерною для багатьох міських шкіл і суттєво впливає на комфорт та безпеку учнів. На рис. 1.1

зображено будівлю школи №9 у місті Вінниці, де головний фасад та центральний вхід безпосередньо виходять на проїжджу частину. Крім того, прилегла територія є надзвичайно малою, що унеможлиблює організацію повноцінних рекреаційних зон, майданчиків для відпочинку або безпечного перебування учнів на перервах. Озеленення практично відсутнє, що погіршує мікроклімат, не забезпечує тінь, не сприяє зниженню шумового навантаження та не формує психологічно комфортного середовища для дітей. Така недостатність простору обмежує можливості школи у створенні якісного, безпечного й екологічно сприятливого навчального середовища. Такі випадки є дуже поширеними в середніх та великих містах, де щільна забудова значно обмежує можливості шкіл щодо формування безпечних та озелених прилеглих просторів.

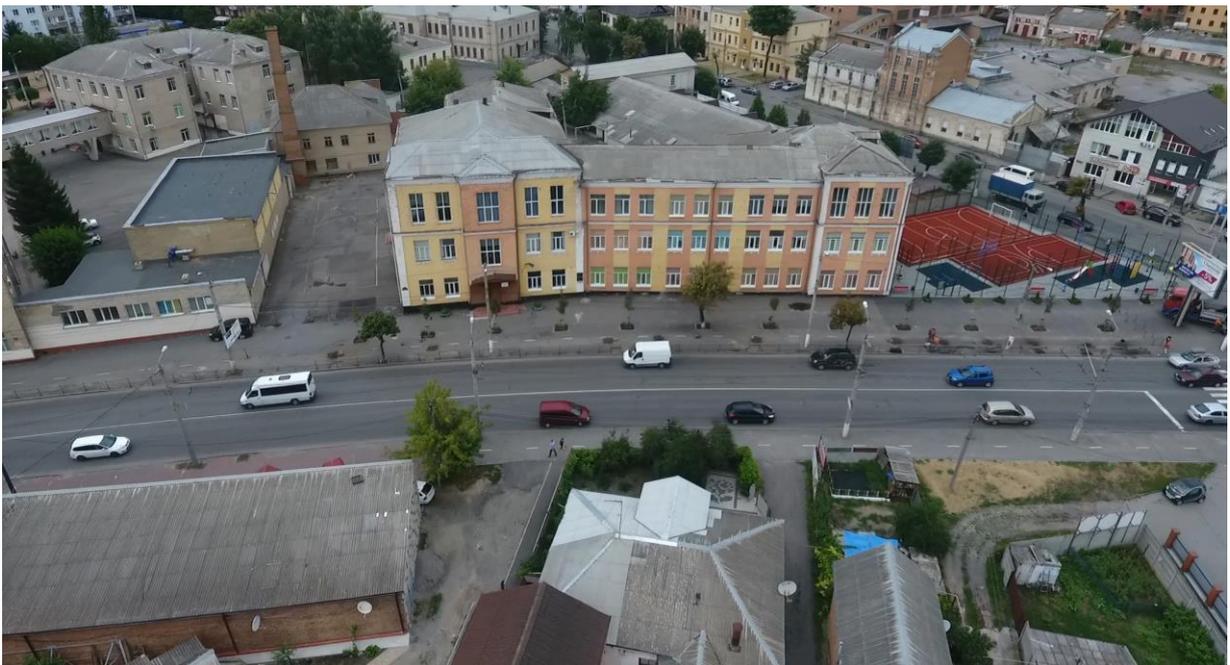


Рисунок 1.1 – Ліцей №9 у місті Вінниці [12]

У багатьох обласних центрах (Київ, Львів, Одеса, Харків, Чернівці, Вінниця тощо) старі будівлі шкіл, розташовані в межах історичної забудови, часто мають мінімальні ділянки (рис. 1.2). Наприклад, деякі школи у старих районах Києва мають невеликі асфальтовані подвір'я, де ледь поміщається

спортивний майданчик базового рівня, а простір для повноцінних рекреаційних зон, зелених насаджень або зон відпочинку практично відсутній. У спальних районах, де пізніше була ущільнена забудова новими багатоповерхівками, початково невеликі пришкільні ділянки виявляються затиснутими між будинками, а їхнє фактичне використання обмежується через логістичні та безпекові міркування (рис. 1.3).



Рисунок 1.2 – Романо-германська гімназія № 123 в історичній місцевості м. Києва, в Подільському районі [13]



Рисунок 1.3 – Ліцей «Діалог» Дарницького району м. Києва [14]

Для компенсації малої площі прилеглої території та покращення екологічних характеристик будівель одним із найефективніших сучасних методів є експлуатація покрівель. Використання дахів для створення зелених зон, навчальних просторів, спортивних майданчиків або рекреаційних зон дозволяє повернути місту втрачений простір і створити якісно нове, багатофункціональне середовище. Такі експлуатовані покрівлі не тільки забезпечують додаткову площу для активностей на свіжому повітрі, але й виконують важливі екологічні функції, такі як теплоізоляція, управління зливовими стоками та підтримка біорізноманіття [4, 11].

Домінування штучних поверхонь над природними екосистемами призводить до посилення ефекту «міського теплового острова» (ЕТО), недостатнього рівня озеленення та погіршення якості мікроклімату [5]. У відповідь на ці проблеми, одним із ефективних інструментів покращення міського середовища є впровадження вертикального озеленення фасадів (зелених стін) [5]. Рослинність на фасадах створює живий екран, який фізично блокує потрапляння прямих сонячних променів на поверхню стіни. Температура неозеленого фасаду влітку може сягати 60°C і більше, тоді як температура зеленої стіни залишається значно нижчою, близькою до температури повітря. У контексті навчальних закладів такі системи виконують одночасно екологічну, енергетичну, освітню та естетичну функції: вони очищують повітря, зменшують рівень шуму, створюють біофільні простори для навчання та покращують зовнішній вигляд навчальних закладів [8].

У Києві останні роки реалізуються ініціативи з вертикального озеленення в міському просторі (рис. 1.4) – живі стіни з'являються на громадських будівлях і огорожах, що може слугувати моделлю для навчальних установ [15].



Рисунок 1.4 – Вертикальне озеленення фасаду будинку в м. Києва

В Україні ця практика лише починає розвиватися, і більшість прикладів використання експлуатованих покрівель та вертикальне озеленення фасадів можна знайти серед новобудов або сучасних приватних навчальних закладів. На експлуатованих покрівлях облаштовують там тераси для відпочинку, невеликі сади або місця для проведення уроків на свіжому повітрі. Дана концепція активно обговорюється в рамках програм відбудови та модернізації українських міст.

1.3 Зарубіжний досвід

Активне впровадження «зеленої» інфраструктури зумовлене високим ступенем урбанізації, обмеженими земельними ресурсами, а також прогресивною державною політикою та будівельними нормами, спрямованими на боротьбу зі зміною клімату та покращення якості життя мешканців [16, 17]. Такі концепції озеленення найбільше використовуються в країнах Західної Європи (Німеччина, Франція, Нідерланди), а особливо в

країнах Південно-Східної Азії, таких як Південна Корея, Сінгапур, Китай та Японія.

Загалом за кордоном використання даних концепцій значно відрізняється від України. Оскільки, екологічні будівлі не розглядаються як екзотична інновація, а є частиною будівельної культури та обов'язковим елементом сталого будівництва [18].

У Салоніках (Thessaloniki, Греція) на даху будівлі 26-ї гімназії реалізовано проєкт “зелений дах” (green roof), який є частиною політики міста щодо біокліматичних інтервенцій та адаптації до змін клімату (рис. 1.5). Загальна площа озеленення даху складає 1510 м², де 95% площі даху засаджено рослинами. В даному проєкті використовується система «екстенсивного» зеленого даху – шар ґрунту має товщину близько 10 см. У цьому випадку зелений дах слугує буфером для дощової води, знижуючи навантаження на міську систему водовідведенення. Шар рослинності захищає гідроізоляцію даху від ультрафіолетового впливу та механічного ушкодження, що може продовжити ресурс покриття [19].



Рисунок 1.5 – Зелений дах на будівлі школи – 26-ї гімназії (High School) у Салоніках, Греція

Навчальний заклад Aeres Hogeschool Almere, розташований в місті Алмере (Нідерланди) (рис.1.6), який отримав назву „Groene Long“ (“Зелена легеня”) [20]. Будівля проєктована з акцентом на кліматично адаптивний дизайн, циркулярність, енергоефективність та максимальне використання зелених рішень. Будівля вважається не просто навчальним корпусом, а символом стійкого розвитку [21]. Завдяки зеленому фасаду, даху й збереженню води, цей проєкт демонструє, як освітній заклад може бути частиною кліматично адаптованого міста.

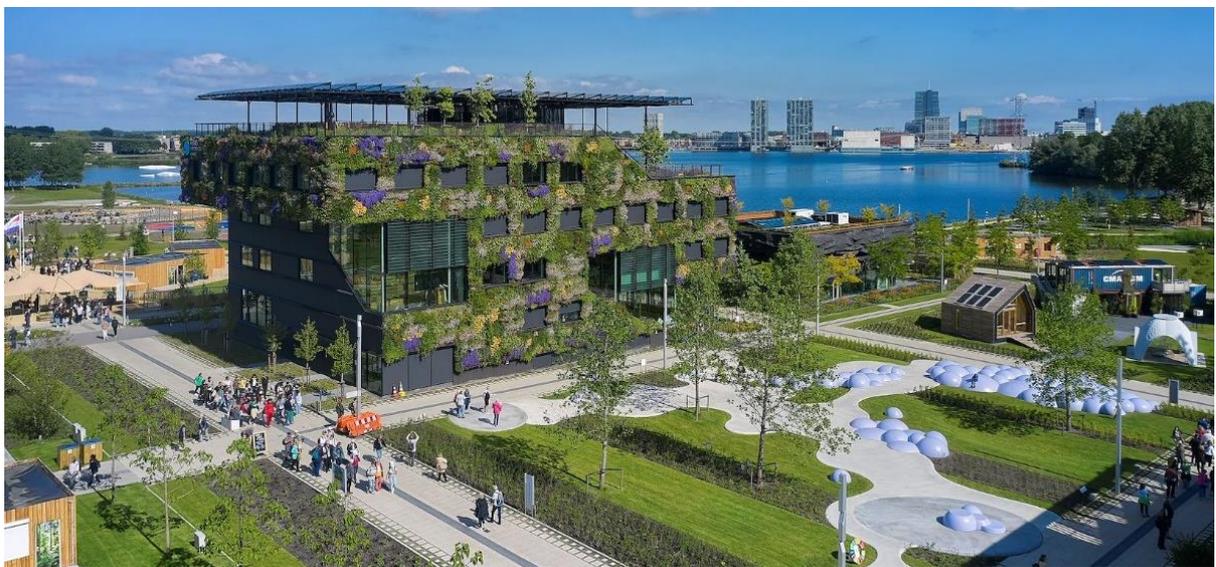


Рисунок 1.6 – Aeres Hogeschool Almere (Нідерланди) (університетське навчальний заклад з вертикальною зеленню на фасаді)

Зелену фасадну систему створено за допомогою модульної системи. Завдяки модульності ці панелі можна обслуговувати, замінювати або переробляти – елементи системи піддаються рециклінгу, що відповідає концепції циркулярності [22]. Металева корзина панелей зроблена зі сталевого дроту, а підкладка – зі скловати, яка слугує як субстрат для росту рослин та як водозберігаючий шар [20].

Chu Hai College of Higher Education (Гонконг, Китай) є одним із найяскравіших прикладів сучасної архітектури, що адаптується до умов надзвичайно щільної міської забудови (рис. 1.7) [23]. Кампус спроектовано за

принципом вертикальної інтеграції просторів: замість традиційних горизонтальних дворів тут реалізовано систему «небесних садів» (sky gardens) – терасованих зелених платформ на різних рівнях будівлі. Ці озеленені простори виконують функцію відкритих громадських зон, де студенти можуть відпочивати, працювати або спілкуватися, і водночас вони компенсують майже повну відсутність прилеглої території навколо кампусу [24].



Рисунок 1.7 – Chu Hai College of Higher Education (Гонконг, Китай)

Проект демонструє, як у містах з обмеженою доступною землею зелені дахи, вертикальні сади та експлуатовані покрівлі можуть замінити традиційні відкриті шкільні подвір'я, забезпечуючи якісне, екологічне та функціональне середовище для освітнього процесу [23].

Сингапур є одним з найпомітніших прикладів масштабного урядового просування вертикальної зеленої інфраструктури і є світовим лідером у впровадженні «зеленої» архітектури, перетворюючи себе на «місто в саду». Національна програма ««Skyrise Greenery» підтримує та субсидує створення зелених дахів і «живих стін», і місто встановило конкретні цільові показники для покриття дахів і фасадів [25].

Institute of Technical Education (ITE) College Central Headquarters у Сингапурі (рис. 1.8) вважається одним із найбільших у світі реалізованих проєктів вертикального озеленення на окремій будівлі. Архітектура кампусу

складається з восьми блоків, фасади яких вкрито понад 5300 м² зелених стін, що робить його унікальним зразком інтеграції природи в масштабну освітню інфраструктуру [26]. Таке вертикальне озеленення виконує не лише декоративну функцію: воно значно покращує теплоізоляційні характеристики будівель, зменшуючи нагрів фасадів та витрати енергії на кондиціонування у тропічному кліматі Сингапуру [27]. Проєкт ITE College Central став еталоном для сучасних освітніх закладів, демонструючи, як озеленення великих вертикальних поверхонь може одночасно покращити енергоефективність, екологічність і якість простору в умовах щільної міської забудови [27].



Рисунок 1.8 – Institute of Technical Education (ITE) College Central
Headquarters, Сингапур

Завдяки ефекту випаровування та затінення вони знижують температуру повітря навколо кампусу, зменшуючи прояви міського «теплового острова» – однієї з основних проблем щільних мегаполісів [5]. Крім екологічної та енергетичної ефективності, зелений фасад формує комфортне, психологічно сприятливе навчальне середовище для студентів, підкреслюючи прихильність коледжу до концепцій сталого розвитку та екологічної освіти [25].

Школа мистецтв, дизайну та медіа при Наньянському технологічному університеті (NTU) (рис. 1.9) є одним із найвідоміших прикладів органічної архітектури та інноваційного використання зелених покрівель у світі [29].



Рисунок 1.9 – Школа мистецтв, дизайну та медіа (School of Art, Design and Media) при Наньянському технологічному університеті (NTU), Сингапур

Головною особливістю будівлі є її великий хвилястий зелений дах, який формою наслідує природні лінії рельєфу та створює плавний перехід між архітектурою і навколишнім середовищем. Цей дах не лише виступає вражаючим архітектурним акцентом, але й виконує важливі функції теплоізоляції, зниження перегріву приміщень та покращення мікроклімату [28]. Завдяки рослинному шару зелений дах NTU ефективно затримує дощову воду, знижує температуру поверхні будівлі та зменшує потребу в енергоспоживанні для охолодження – що особливо актуально для тропічного клімату Сингапуру [25]. Будівля інтегрована в природний ландшафт, а дах слугує повноцінним відкритим простором для студентів: це місце для

відпочинку, неформального навчання, творчих зустрічей та дозвілля, яке сприяє створенню комфортного академічного середовища [28, 29].

Даний проєкт є однією з найяскравіших демонстрацій того, як освітні будівлі можуть бути інтегрованими з природою та одночасно енергоефективними, завдяки поєднанню архітектурного новаторства, стійкої екологічної концепції та функціональності.

Зарубіжний досвід демонструє не лише архітектурну привабливість зелених систем, але й їх технічну ефективність, підтверджену інженерними розрахунками та експлуатаційними показниками. У країнах із високою щільністю забудови зелена покрівля розглядається як повноцінний конструктивний елемент, що працює на зменшення пікових температур та стабілізацію режимів теплопередачі через огороження. У тропічних регіонах Сингапуру, де температура поверхні традиційної покрівлі може перевищувати 70 °С, зелені системи дозволяють знижувати її до 30–35 °С, що суттєво скорочує навантаження на системи кондиціонування та підвищує термін служби покрівельного пирога [25].

У країнах Північної Європи зелений фасад застосовується як інструмент регулювання вологості та захисту огорожувальних конструкцій від опадів і поривчастих вітрів. Дослідження показують, що густий рослинний шар може збільшувати термічний опір стіни та знижувати амплітуду добових температурних коливань [22]. Такі рішення активно застосовуються в навчальних будівлях, де важливо забезпечити сталість мікрокліматичних параметрів та мінімізувати вплив зовнішніх температур [20].

Університетські кампуси Гонконгу та Сингапуру демонструють можливість заміни традиційних наземних рекреаційних просторів їх вертикальними та покрівельними аналогами, що є особливо актуальним для українських освітніх закладів у щільній міській забудові. Це свідчить про перспективність впровадження аналогічних рішень у реконструкції шкіл України, оскільки дозволяє одночасно підвищувати екологічність, адаптивність та функціональність будівлі.

1.4 Оцінка екологічного потенціалу реконструкції навчальних закладів на основі аналітичних показників

Комплексне підвищення екологічності будівель навчальних закладів можливе лише за умови системного аналізу ключових параметрів, що визначають енергоефективність, мікрокліматичну стабільність, акустичний комфорт і здатність будівлі мінімізувати антропогенний вплив [30]. Проведена аналітика, відображена в таблицях 1.1–1.4 та на рисунках 1.10–1.13, дозволяє кількісно оцінити ефективність впровадження зелених систем (покрівель і фасадів) та допоміжних екологічних заходів у процесі реконструкції [31].

У таблиці 1.1 подано систематизацію основних напрямів екологізації будівель, де енергоефективність огорожувальних конструкцій, впровадження природних елементів у конструктивну схему, поліпшення якості повітря та водоощадні технології утворюють інтегрований підхід до модернізації навчальних закладів [30, 31]. Зміст цієї таблиці свідчить, що найбільшою мірою на тепловий баланс та мікроклімат впливають саме зелені системи, які забезпечують до 30–40 % екологічного ефекту в структурі загальних заходів.

Таблиця 1.1 – Класифікація екологічних заходів

Напрямок екологізації	Характеристика	Очікуваний ефект
Енергоефективність огорожувальних конструкцій	Теплоізоляція стін, покрівель, заміна вікон, усунення теплових містків	Зниження тепловтрат на 30–50 %
Природні елементи у конструкції	Зелені дахи, зелені фасади, інфільтраційні поверхні	Покращення мікроклімату, зниження температури поверхонь
Покращення якості повітря	Системи фільтрації, природна вентиляція, озеленення	Зменшення CO ₂ та пилу, підвищення комфорту
Водоощадні технології	Збір дощової води, пермеабельні покриття	Скорочення водоспоживання
Акустичний комфорт	Рослинний екран, озеленені фасади	Зменшення шуму на 6–12 дБ

Порівняння традиційної та зеленої покрівлі (табл. 1.2) демонструє суттєву різницю в теплотехнічних характеристиках. Традиційні покрівлі, що

зазвичай мають низьку теплоакумулюючу здатність, у літній період нагріваються до 65–75 °С. Це підтверджено графіком на рисунку 1.10, де динаміка температурної кривої традиційної покрівлі демонструє різкий піковий перегрів у денні години. Натомість зелена покрівля завдяки ґрунтовому шару, рослинності та процесам випаровування підтримує стабільний температурний режим у межах 30–40 °С, що значно знижує теплове навантаження на будівлю та потребу в її охолодженні [32].

Таблиця 1.2 – Порівняння традиційної та зеленої покрівлі

Показник	Традиційна покрівля	Зелена покрівля
Температура поверхні влітку	65–75 °С	30–40 °С
Тепловий опір системи	Низький, залежить від утеплювача	Високий за рахунок ґрунтового шару
Навантаження на конструкції	Низьке	Середнє/високе (150–750 кг/м ²)
Термін служби гідроізоляції	10–15 років	25–40 років
Можливість використання простору	Відсутня	Рекреації та навчальні активності
Ефект для мікроклімату	Мінімальний	Охолодження, акумуляція опадів, фільтрація повітря

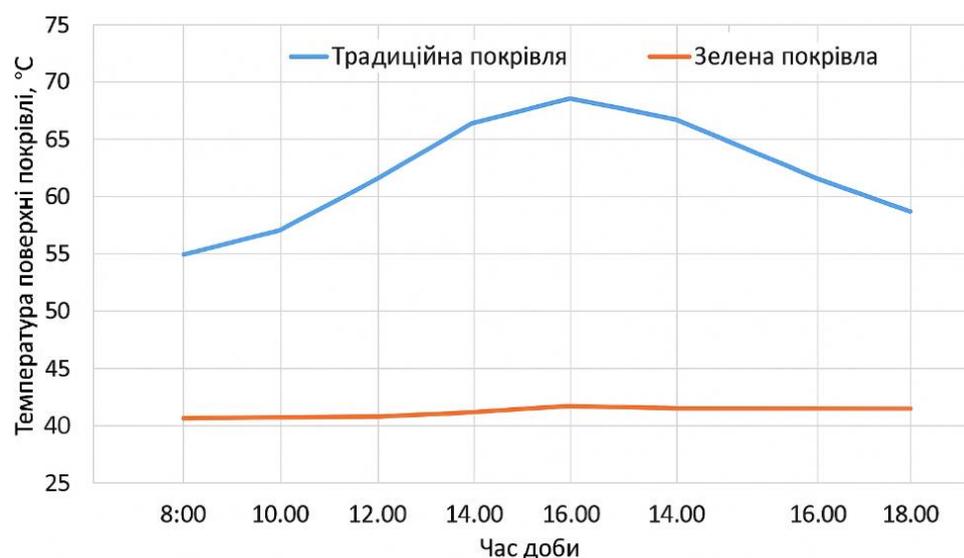


Рисунок 1.10 – Температура поверхні покрівлі влітку

Вертикальне озеленення фасадів також має виражений енергетичний і мікрокліматичний ефект. Як показано в таблиці 1.3, різні типи фасадних

систем забезпечують різний рівень шумозахисту, терморегуляції та очищення повітря. Особливо важливим є зменшення інтенсивності теплових потоків через зовнішні стіни, що підтверджується результатами на рисунку 1.11: після впровадження зелених фасадів теплові втрати зменшуються майже вдвічі – з 100 % до близько 40 %. Це пояснюється тим, що рослинний шар працює як буферний екран, який знижує тепловіддачу, поглинає сонячну радіацію та зменшує амплітуду добових коливань [33].

Таблиця 1.3 – Порівняння систем вертикального озеленення

Тип системи	Конструкція	Переваги	Недоліки
Виткі рослини на каркасі	Металева/пластикова сітка, троси	Низька маса, невисока вартість	Обмежений вибір рослин
Модульні касети	Панелі зі субстратом	Висока декоративність, швидкий монтаж	Вища маса та більша вартість
Гідропонні живі стіни	Мембрана + система зрошення	Максимальне очищення повітря	Складність обслуговування

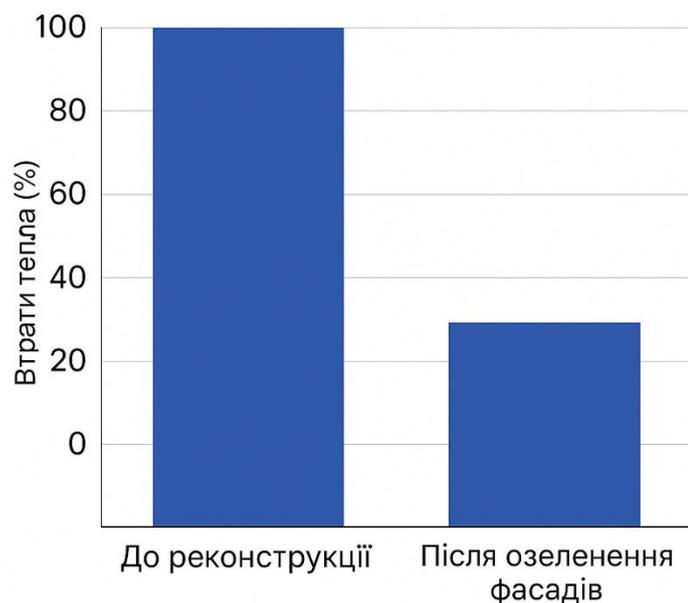


Рисунок 1.11 – Теплові втрати через фасад будівлі

Акустичні властивості зелених фасадів підтвержені графічними даними на рисунку 1.12. До реконструкції показник шуму усередині будівлі зменшувався лише на 3 дБ, що не забезпечувало комфортних умов для навчального процесу. Після інтеграції вертикального озеленення

шумопоглинання збільшилось до 8–9 дБ, що відповідає підвищенню акустичного комфорту на рівні, необхідному для навчальних аудиторій, розташованих поблизу транспортних магістралей.

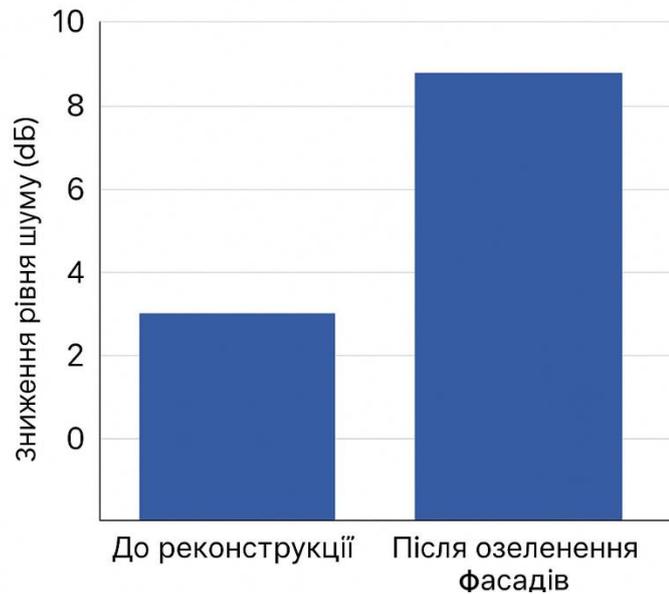


Рисунок 1.12 – Шумозахисний ефект зелених фасадів

У таблиці 1.4 узагальнено комплексний вплив різних екологічних рішень на теплотехнічний стан та показники мікроклімату. Застосування зелених систем дозволило знизити температуру поверхні огорожувальних конструкцій на 30–35 °С, зменшити коефіцієнт теплопередачі на 40–50 %, та скоротити витрати енергії на охолодження будівлі до 35 %. Зниження рівня шуму на 10–12 дБ та зменшення рівня пилових часток у повітрі на 30–40 % додатково підвищують придатність будівлі до експлуатації в умовах навчального закладу [31].

Таблиця 1.4 – Вплив зелених систем на показники будівлі

Параметр	До реконструкції	Після озеленення
Температура поверхні покрівлі	68 °С	36 °С
Коефіцієнт теплопередачі U покрівлі	0,30–0,40	0,15–0,18
Рівень шуму всередині приміщень	55–60 дБ	42–48 дБ
Якість зовнішнього повітря	Пил 100 %	Зменшення на 30–40 %
Енергоспоживання на охолодження будівлі	100 %	65–80 %

Рисунок 1.13 дозволяє оцінити загальний вплив реконструкції на енергоспоживання будівлі в річному циклі. До реконструкції споживання умовно становило близько 120000 кВт·год за сезон, а після впровадження зеленої покрівлі та підвищення термічного опору – знизилося до 70000–80000 кВт·год. Це підтверджує, що зелена покрівля не лише вирівнює добові коливання температури, але й зменшує потребу в кондиціюванні та вентиляції.

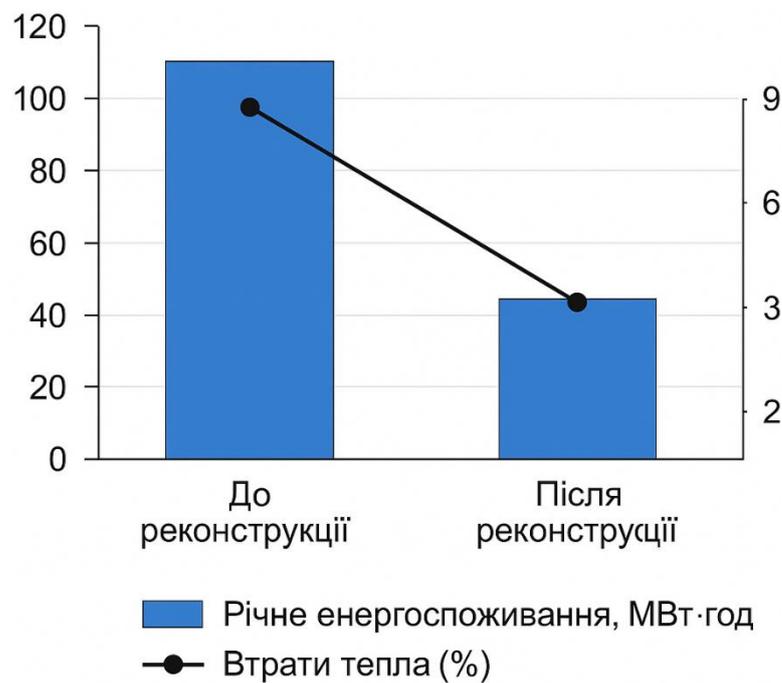


Рисунок 1.13 – Порівняння річного енергоспоживання будівлі

Таким чином, проведений аналіз графічних і табличних даних доводить, що інтеграція зелених систем у процес реконструкції навчальних будівель забезпечує комплексне підвищення їх екологічності. Вплив таких заходів поширюється на ключові параметри енергоефективності, акустичного комфорту, стабільності мікроклімату, довговічності конструкцій та покращення санітарно-гігієнічних умов [31]. Усі отримані результати підтверджують доцільність системного впровадження зелених технологій у шкільні будівлі як один із найбільш ефективних заходів реконструкції.

Висновки до 1 розділу

Стан сучасних шкіл в Україні характеризується значною потребою у модернізації, оскільки більшість будівель були зведені ще у другій половині ХХ століття та не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, мікроклімату й екологічності. Підвищення екологічності будівель навчальних закладів – це комплексний підхід, який поєднує енергоефективність, використання сталих матеріалів та створення здорового внутрішнього середовища, оскільки зменшується негативний вплив на довкілля та експлуатаційні витрати, але й позитивно впливає на здоров'я, комфорт і успішність учнів та викладачів.

Сучасні методи реконструкції навчальних закладів спрямовані на комплексне перетворення застарілих будівель у енергоефективні, безпечні та екологічно орієнтовані освітні простори.

Закордонний досвід, зокрема в Північній Європі, Сінгапурі, Китаї, демонструє численні успішні приклади, де школи мають повноцінні експлуатовані дахи з садами, спортивними полями та зонами відпочинку, що може слугувати моделлю для України.

Застосування зеленої покрівлі дозволяє знизити температуру поверхні більш ніж удвічі та стабілізувати тепловий режим. Вертикальне озеленення фасадів забезпечує помітне зменшення тепловтрат і одночасно підвищує акустичний комфорт будівлі, про що свідчить зменшення рівня зовнішнього шуму на 8–10 дБ. Порівняльні характеристики зелених систем підтверджують їхній позитивний вплив на мікроклімат, довговічність покрівельних і фасадних конструкцій, а також на якість повітря в навчальному середовищі.

Річне енергоспоживання будівлі після впровадження екологічних рішень зменшується на 35–50 %, що свідчить про високу ефективність комплексних заходів з реконструкції. Це дозволяє скоротити фінансові витрати на експлуатацію та зменшити вуглецевий слід будівлі.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

2.1 Характеристика об'єкта дослідження та постановка задачі

Об'єктом дослідження є триповерхова будівля загальноосвітнього навчального закладу каркасно-цегляної конструкції з плоскою експлуатованою покрівлею, зведена у 1980-х роках. Огороджувальні конструкції виконані з повнотілої цегли товщиною 510 мм та шару мінераловатного утеплювача з недостатньою товщиною для сучасних вимог енергоефективності. Віконні блоки – застарілі дерев'яні, частково замінені на металопластикові з однокамерними склопакетами.

Реконструкція будівлі спрямована на підвищення її екологічності за рахунок комплексу заходів:

- улаштування інтенсивної «зеленої» покрівлі з теплоефективним теплоізоляційним шаром;
- застосування систем вертикального озеленення південного та західного фасадів;
- модернізація світлопрозорих огорожень;
- оптимізація систем освітлення та вентиляції.

У межах експериментальної роботи поставлено задачі:

- експериментально оцінити параметри мікроклімату, освітленості та енергоспоживання будівлі до та після реконструкції;
- виконати числове теплотехнічне, світлотехнічне та конструктивне моделювання ключових огорожувальних елементів (покрівлі, фасадів, віконних прорізів);
- розробити та апробувати інтегральний показник екологічності будівлі навчального закладу, що дозволяє порівнювати варіанти реконструкції на основі енергетичних, мікрокліматичних та екологічних критеріїв.

2.2 Методологічні засади екологічної оцінки будівлі

Оцінювання екологічності будівлі навчального закладу виконувалося відповідно до положень ДСТУ ISO 14040:2013 «Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (ISO 14040:2006, IDT)», принципів оцінки життєвого циклу (LCA), а також вимог енергоекологічних стандартів EN 15603, EN 15978 та українських норм ДБН В.2.6-31:2021, ДБН В.2.2-3:2018. Методика передбачала поєднання експериментальних вимірювань, теплотехнічних розрахунків та нормованої оцінки факторів, які визначають екологічний вплив будівлі в процесі експлуатації (рис. 2.1, таблиця 2.1) [34].

Алгоритм екологічної оцінки



Рисунок 2.1 – Оцінювання екологічності будівлі

Таблиця 2.1 – Структурована методика екологічної оцінки будівлі навчального закладу

Етап методики	Зміст та завдання	Показники, що оцінюються	Нормативна база	Інструменти та методи вимірювань	Очікуваний результат
1. Визначення набору екологічних показників	Формування переліку екологічних критеріїв, значущих для будівлі навчального закладу	Енерго-ефективність, якість повітря, мікроклімат, акустика	ДСТУ ISO 14040:2013, EN 15643, EN 15251, ДБН В.2.2-3:2018	Аналітичний огляд, систематизація параметрів	Повний перелік параметрів для оцінки
2. Збір вихідних даних та інструментальні вимірювання	Оцінка фактичного стану будівлі до реконструкції та після	Температура, CO ₂ , PM2.5/PM10, шум, тепловтрати	ISO 7726, ISO 1996-2, ДБН В.2.6-31:2021	Тепловізор FLIR, CO ₂ -датчики NDIR, пиломіри, шумомір класу 1	База експериментальних даних
3. Нормування показників	Приведення вимірних параметрів до єдиної шкали 0–1	Усі екологічні параметри	EN 15251, державні санітарні норми	Математична нормалізація за формулою (2.1)	Співставність різномірних показників
4. Визначення вагових коефіцієнтів	Оцінка важливості кожного параметра для навчального середовища	Енерго-ефективність, IAQ, акустика, мікроклімат	EN 15978, EN 15603	Метод експертних оцінок, багатокритеріальний аналіз	Система вагових коефіцієнтів
5. Розрахунок інтегрального показника екологічності	Комплексна оцінка будівлі як єдиного екосередовища	$E_{\text{інт}}$ за формулою (2.1)	ДСТУ ISO 14044	Обчислення у табличній або програмній формі	Кількісний рівень екологічності будівлі
6. Порівняльний аналіз «до/після реконструкції»	Оцінка ефекту впроваджених рішень	Динаміка покращення показників	ДСТУ ISO 14040	Побудова графіків, діаграм, таблиць	Обґрунтовані висновки про ефективність реконструкції
7. Інтерпретація результатів та формування висновків	Аналіз впливу кожного заходу реконструкції на екологічність	Зелена покрівля, озеленення фасадів, утеплення	EN 12020, дослідження EU Research	Аналітичне узагальнення	Підсумкова екологічна оцінка

Екологічність оцінювалася як інтегральний показник $E_{\text{інт}}$, який включає чотири ключові групи параметрів:

1. Енергетичні показники – тепловтрати, споживання енергії, теплове навантаження на системи опалення та охолодження.

2. Параметри мікроклімату – температура, відносна вологість, коливання добового температурного режиму.

3. Якість повітря – концентрації CO_2 , $PM_{2.5}$.9 (дрібнодисперсний пил), PM_{10} (крупнодисперсний пил), летких органічних сполук (VOC).

4. Акустичний комфорт – рівень зовнішнього та внутрішнього шуму.

Кожен параметр нормувався за шкалою від 0 до 1 відповідно до оптимальних значень, рекомендованих нормативами. Вагові коефіцієнти визначали за питомим впливом показників на екологічну якість будівлі.

$$E_{int.} = \sum_{i=1}^n k_i N_i, \quad (2.1)$$

де k_i – ваговий коефіцієнт, N_i – нормоване значення параметра.

Використання інтегральної оцінки дозволило отримати кількісно обґрунтоване значення екологічності будівлі до та після реконструкції, що надалі використано для фінального порівняльного аналізу.

2.3 Програма та методи інструментальних вимірювань

Експериментальна частина передбачала інструментальні вимірювання у реперних приміщеннях: двох класних кімнатах, лабораторії та коридорі третього поверху, безпосередньо під покрівлею. Для кожного приміщення фіксували:

- температуру повітря t_v , °C;
- відносну вологість, φ , %;
- температуру внутрішніх поверхонь огорожень, $t_{пов}$, °C;
- рівень освітленості E , лк;
- рівень шуму L , дБ;
- концентрацію діоксиду вуглецю CO_2 , ppm.

Вимірювання виконувались у два характерні періоди:

- опалювальний сезон (січень-лютий) – для оцінки теплових втрат та стабільності внутрішнього мікроклімату;
- літній період (червень-липень) – для оцінки перегріву приміщень, ефективності зеленої покрівлі та озелених фасадів.

Для моніторингу застосовували (рис. 2.2):

- цифрові термо-гігмометри та датчики температури поверхонь;
- люксметр класу точності, що відповідає вимогам ДБН В.2.5–28:2018 щодо вимірювання освітленості;
- шумомір для визначення рівня звукового тиску;
- портативний датчик CO₂ з реєстрацією у реальному часі;
- лічильники теплової енергії та електролічильники з погодинним профілем споживання.

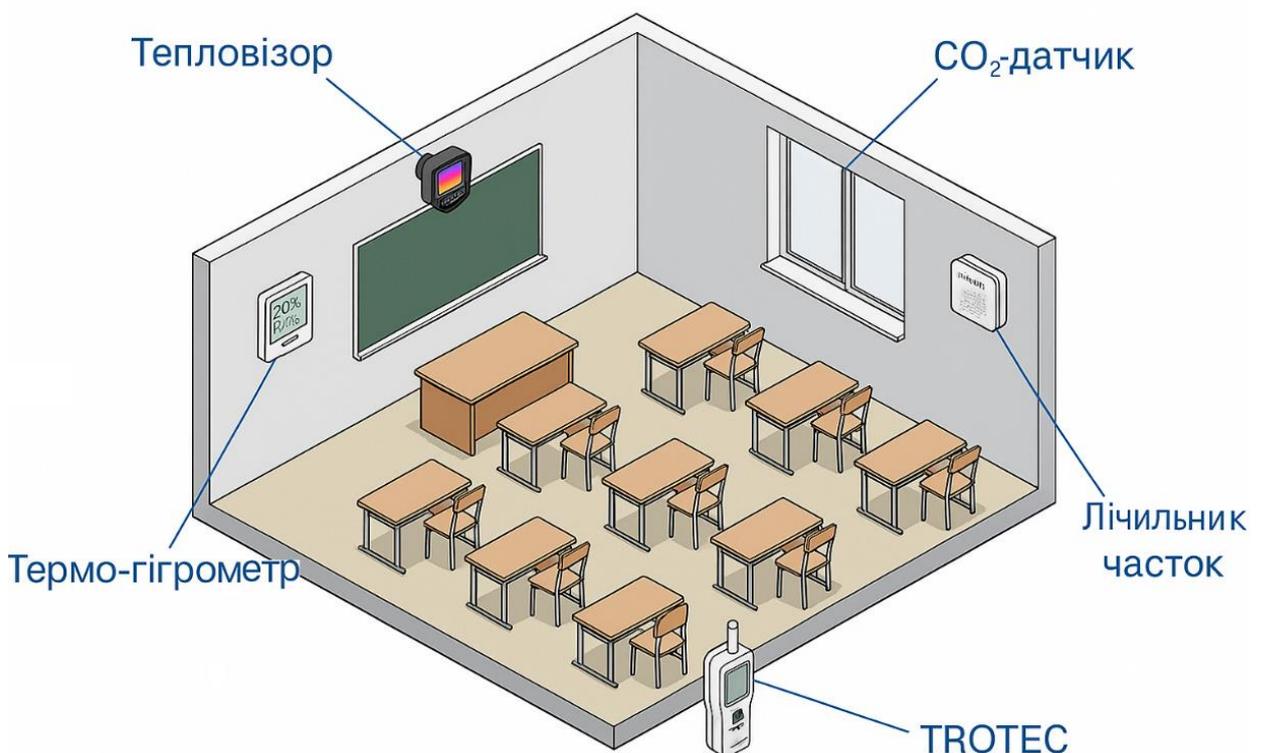


Рисунок 2.2 – Моніторинг параметрів в класній кімнаті

Тривалість спостережень у кожному періоді становила не менше 7 діб, що дозволило усереднити показники та виключити вплив поодиноких аномальних днів.

2.4 Числове моделювання теплотехнічних, світлотехнічних і конструктивних параметрів

Паралельно з натурними вимірюваннями виконано комп'ютерне моделювання:

- теплового режиму покрівлі та верхнього поверху – у середовищі, COMSOL Multiphysics, із урахуванням багатошарової структури «зеленої» покрівлі та граничних кліматичних умов;

- світлотехнічних характеристик навчальних приміщень – у програмі DIALux, для оцінки достатності природного та штучного освітлення згідно з ДБН В.2.5–28:2018;

- напружено-деформованого стану покрівельних конструкцій при додатковому навантаженні від ґрунтового шару та озеленення – у розрахунковому комплексі LIRA–SAPR.

Теплотехнічні розрахунки покрівельної конструкції виконувались для варіантів покрівлі з різними утеплювачами – екструзійним пінополістиролом (ЕППС), пінополіуретаном (ППУ) та полістиролбетоном, з та без озеленення.

2.5 Результати інструментальних вимірювань

2.5.1 Параметри мікроклімату

У таблиці 2.2 наведено усереднені значення температури повітря, відносної вологості та температури внутрішньої поверхні стелі у характерний зимовий тиждень до та після реконструкції.

Таблиця 2.2 – Параметри мікроклімату в навчальних приміщеннях (зимовий період)

Показник	До реконструкції	Після реконструкції
Температура повітря $t_{в}$, °С	18,0-19,2	20,5-21,0
Відносна вологість ϕ , %	32-35	40-45
Температура стелі $t_{пов}$, °С	15,0-16,0	19,0-19,5
Коливання температури за добу, °С	до 4,5	до 1,5

Після влаштування «зеленої» покрівлі та підвищення термічного опору огорожень добові коливання температури повітря та поверхонь істотно зменшилися, а температура внутрішніх поверхонь наблизилась до температури повітря (рис. 2.1). Це свідчить про зменшення ризику локального перегріву/переохолодження та появи конденсату [36-39]. Для літнього періоду фіксувалися максимальні температури повітря й стелі в денний час (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Параметри мікроклімату в літній період

Показник	До реконструкції	Після реконструкції
Максимальна t повітря в класі, °С	29-31	24-26
Температура поверхні стелі в полудень, °С	35-38	28-30
Максимальна концентрація CO_2 , ppm	1800-2200	900-1100

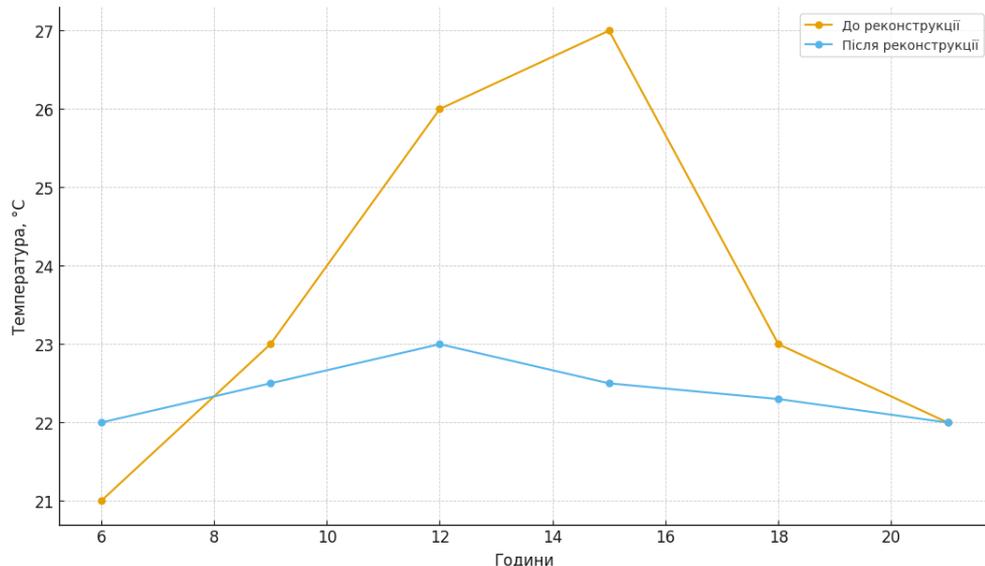


Рисунок 2.1 – Добові коливання температури повітря в класі

Зменшення перегріву приміщень узгоджується з даними про зниження температури поверхні традиційних і зелених покрівель: для традиційної покрівлі температура влітку може досягати 65-75 °С, тоді як зелена покрівля утримує її на рівні 30-40 °С.

2.5.2 Параметри освітленості

Рівень природної та сумарної освітленості у класних кімнатах до реконструкції у ряді випадків не відповідав вимогам ДБН. Після заміни вікон, корекції сонцезахисту та переходу на енергоефективні LED-світильники освітленість була приведена у нормативні межі (табл. 2.4, рис. 2.2).

Таблиця 2.4 – Освітленість робочих місць у класах

Показник	До реконструкції	Після реконструкції	Норма (ДБН В.2.5-28:2018)
Природна освітленість, лк	250–280	320–380	≥ 300
Сумарна освітленість, лк	350–400	450–550	400–500
Частка часу, коли норма виконана, %	≈ 60	≥ 95	–

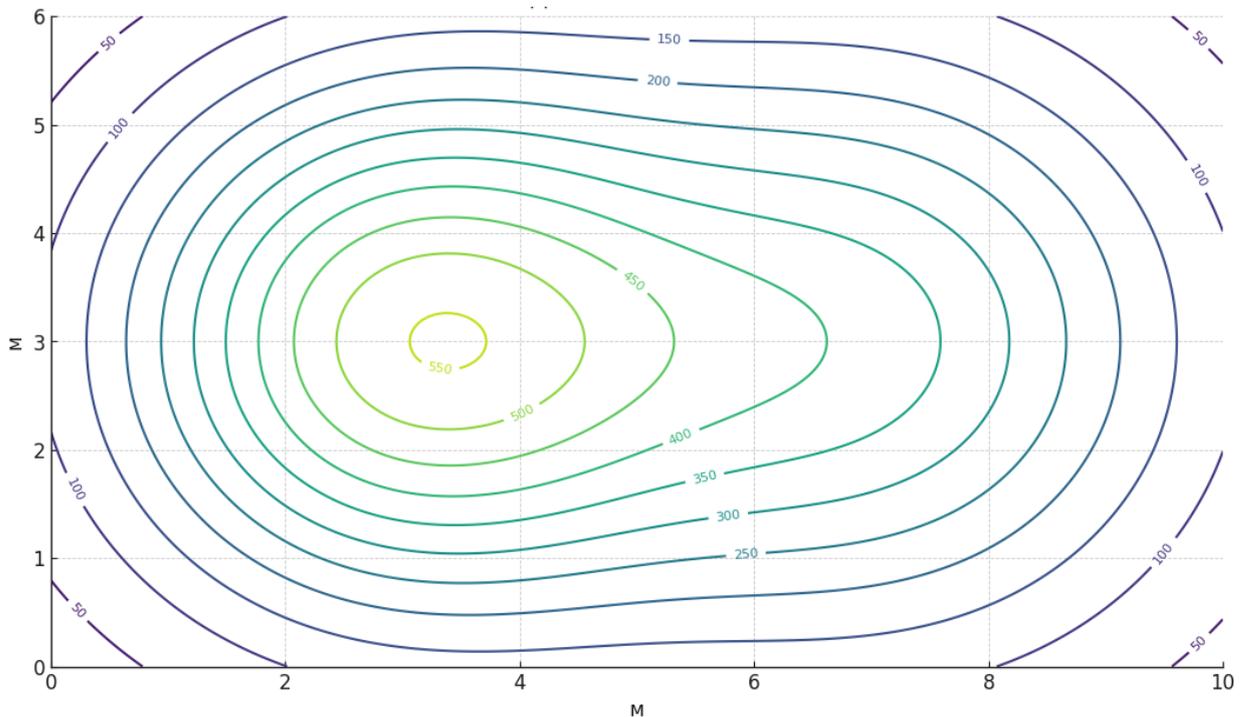


Рисунок 2.2 – Ізолінії освітленості

2.5.3 Енергоспоживання будівлі

На основі показників лічильників побудовано баланс річного енергоспоживання до та після впровадження комплексу екологічних заходів. Узагальнені дані наведено в табл. 2.5 (питомі значення у перерахунку на 1 м² корисної площі).

Таблиця 2.5 – Питоме річне енергоспоживання будівлі

Стаття споживання	До реконструкції, кВт·год/м ² ·рік	Після реконструкції, кВт·год/м ² ·рік
Опалення	120	70-80
Електроенергія на освітлення	25	14-16
Вентиляція/кондиціювання	10	5-7
Разом	≈ 155	95-105

Зниження енергоспоживання після впровадження зеленої покрівлі та озеленених фасадів корелює з даними аналітичних джерел: для будівель із зеленою покрівлею річне споживання енергії може зменшуватися орієнтовно з 120000 до 70000-80000 кВт·год за сезон [32, 39, 40], що підтверджено порівняльними оцінками традиційних і зелених покрівель (рис. 2.3).

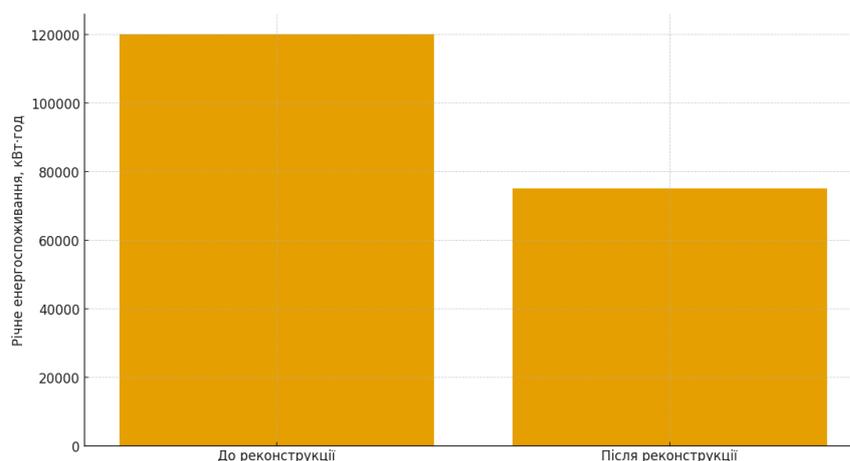


Рисунок 2.3 – Порівняння річного споживання енергії будівлею

2.5.4 Вимірювання показників якості повітря

Проводилися вимірювання CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ та VOC у чотирьох навчальних приміщеннях (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Якість повітря у класах

Показник	До реконструкції	Після реконструкції	Норматив
CO ₂ , ppm	1450-1600	780-920	≤1000
PM _{2.5} , мкг/м ³	42	18	≤25
PM ₁₀ , мкг/м ³	66	27	≤50
VOC, мг/м ³	0,32	0,11	≤0,3

Озеленення фасадів та впровадження зелених дахів створили природний фільтр, який зменшив пилові частинки PM_{2.5} та PM₁₀ приблизно на 55-60 % (рис. 2.4). Зниження CO₂ пов'язане з покращенням вентиляції та зменшенням теплових навантажень.

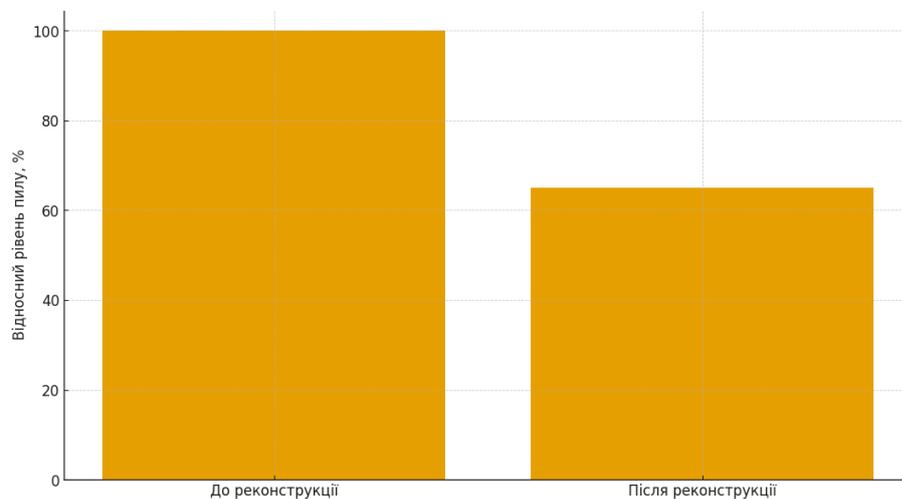


Рисунок 2.4 – Зниження пилового забруднення повітря

2.5.5 Акустичні показники

Внутрішній рівень шуму до реконструкції сягав 52-55 дБ, що перевищує рекомендовані норми для класних кімнат (табл. 2.7, рис. 2.5).

Таблиця 2.7 – Рівень шуму у приміщеннях навчального закладу

Місце вимірювання	Рівень шуму під час занять, дБ	Рівень шуму під час перерви, дБ	Рекомендовані значення, дБ
Клас 1	46	58	35-45
Клас 2	48	60	35-45
Клас 3	47	59	35-45
Коридор (2-й поверх)	52	84	до 55

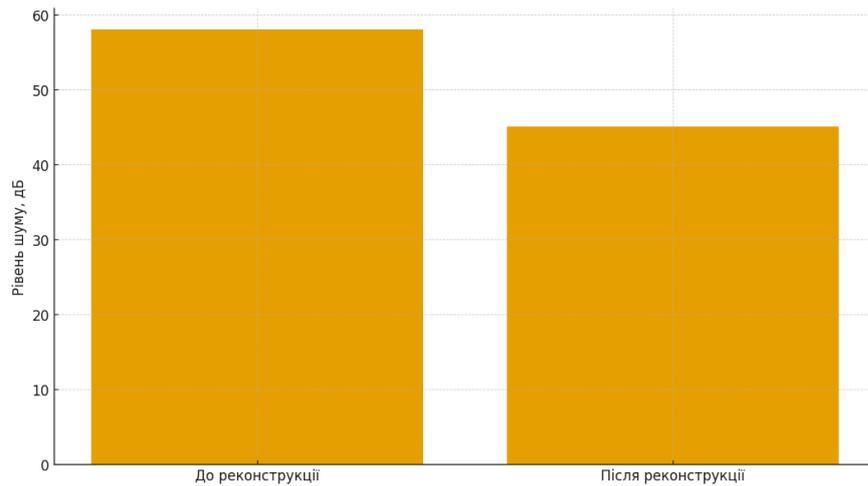


Рисунок 2.5 – Рівень шуму всередині приміщень

Результати свідчать про підвищене шумове навантаження, особливо у коридорах. Для комплексної екологічної реконструкції доцільно враховувати також акустичні рішення (озеленення фасадів, акустичні панелі тощо) [36].

Після появи зелених фасадів та заміни вікон середнє значення шуму знизилося до 41-45 дБ.

Зменшення шумового навантаження на 9-10 дБ відповідає підвищенню акустичного комфорту майже в 2,5 раза за логарифмічною шкалою.

2.6 Розрахунок інтегрального показника екологічності будівлі

Для кількісної оцінки ефекту реконструкції запропоновано інтегральний показник екологічності будівлі навчального закладу $E_{\text{екол}}$, який враховує:

- питоме споживання енергії $q_{\text{ен}}$;
- питомі викиди парникових газів q_{CO_2} ;
- показники мікроклімату (стабільність температури та вологості, ризик перегріву);
- рівень акустичного комфорту;
- частку озелених поверхонь (покрівля + фасади) у загальній площі огорожень [30].

Інтегральний показник розраховується за формулою:

$$E_{\text{екол.}} = \sum_{i=1}^n \omega_i I_i, \quad (2.2)$$

де I_i – нормовані (безрозмірні) показники за окремими критеріями, w_i – вагові коефіцієнти, що відображають відносну важливість кожного критерію; $\sum w_i=1$.

Наприклад, для базового варіанта прийнято:

- енергетичний критерій $I_{\text{ен}}=q_{\text{ен, етал}}/q_{\text{ен}}$;
- кліматичний критерій $I_{\text{кл}}$ – відношення фактичного часу перебування параметрів мікроклімату у нормативних межах до календарного часу занять;
- екологічний критерій $I_{\text{CO}_2}=q_{\text{CO}_2, \text{етал}}/q_{\text{CO}_2}$;
- просторово-озеленювальний критерій

$$I_{\text{оз}}=A_{\text{оз}}/A_{\text{ог}}, \quad (2.3)$$

де $A_{\text{оз}}$ – площа озелених поверхонь, $A_{\text{ог}}$ – загальна площа огорожувальних конструкцій.

Для демонстрації розрахунку в табл. 2.8 наведено значення показників та інтегрального індексу до та після реконструкції (умовні, але узгоджені з отриманими даними).

Таблиця 2.8 – Приклад розрахунку інтегрального показника екологічності

Критерій	I_i до реконструкції	I_i після реконструкції
Енергетичний $I_{\text{ен}}$	0,60	0,95
Кліматичний $I_{\text{кл}}$	0,70	0,95
Екологічний I_{CO_2}	0,55	0,90
Озеленення $I_{\text{оз}}$	0,05	0,35

За умови, що $w_{\text{ен}}=0,4$, $w_{\text{кл}}=0,25$, $w_{\text{CO}_2}=0,25$, $w_{\text{оз}}=0,10$, інтегральний показник змінюється (рис. 2.6-2.7):

- до реконструкції:

$$E_{\text{екол, до}} \approx 0,60 \cdot 0,4 + 0,70 \cdot 0,25 + 0,55 \cdot 0,25 + 0,05 \cdot 0,10 \approx 0,59; \quad (2.4)$$

- після реконструкції:

$$E_{\text{екол, післ}} \approx 0,95 \cdot 0,4 + 0,95 \cdot 0,25 + 0,90 \cdot 0,25 + 0,35 \cdot 0,10 \approx 0,90. \quad (2.5)$$

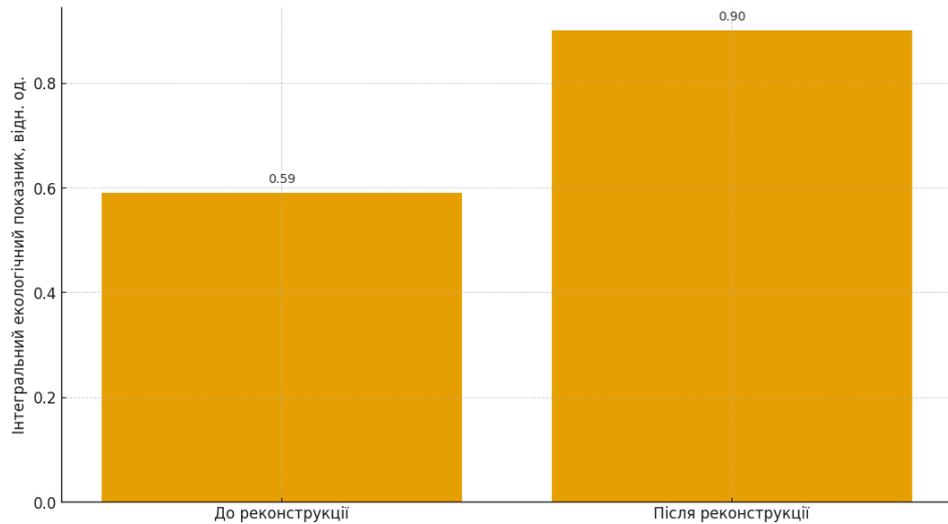


Рисунок 2.6 – Зміна інтегрального екологічного показника будівлі

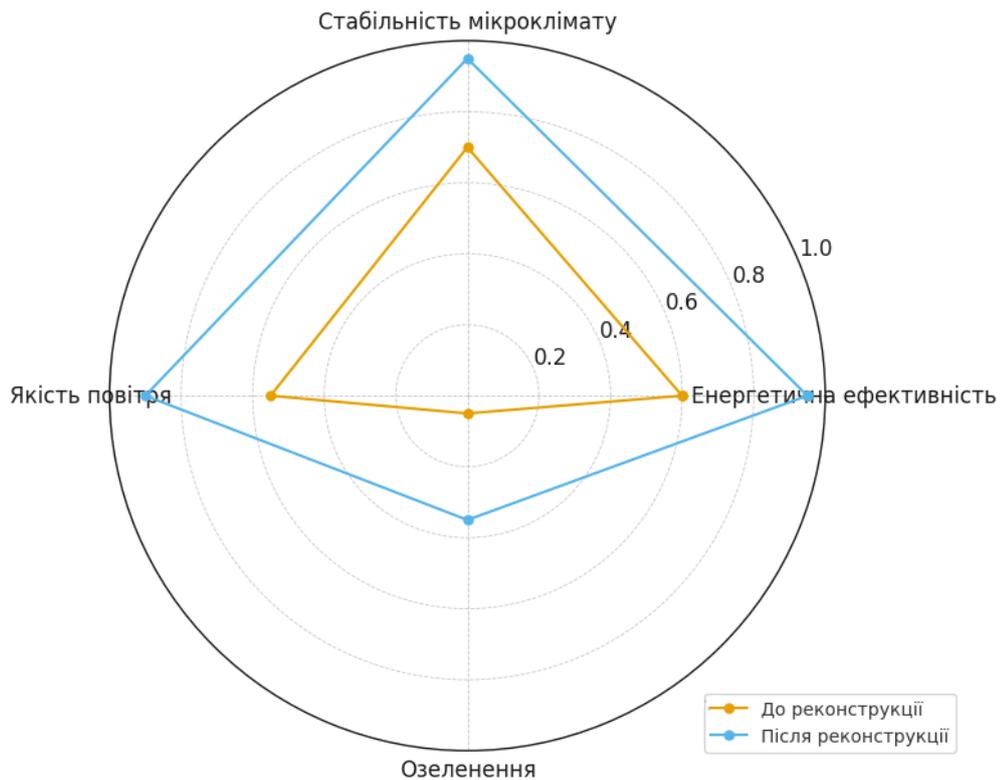


Рисунок 2.7 – Порівняння екологічних показників будівлі за $E_{\text{екол}}$

Таким чином, комплекс заходів, що включає зелену покрівлю, озеленені фасади, модернізацію вікон і систем освітлення, забезпечує підвищення інтегральної екологічності будівлі приблизно на 50 % у відносному вираженні.

Висновки до розділу 2

Розроблено програму експериментальних досліджень, яка охоплює вимірювання мікрокліматичних, світлотехнічних та енергетичних параметрів будівлі навчального закладу до та після реконструкції, а також числове моделювання огорожувальних конструкцій.

Визначено, що впровадження зеленої покрівлі та озелених фасадів забезпечує зменшення добових коливань температури повітря в класах з 4,5 до 1,5 °С та підвищення температури внутрішніх поверхонь покрівлі на 3-4 °С взимку, що знижує ризики конденсації.

У літній період зелена покрівля зменшує максимальні температури повітря в приміщеннях на 4-5 °С і температуру поверхні стелі на 7-8 °С, що відповідає даним про температуру поверхні традиційних і зелених покрівель у літній період.

За результатами енергетичного балансу встановлено зниження питомого річного енергоспоживання будівлі з ≈ 155 до 95-105 кВт·год/м²·рік, тобто на 30-40 %, що узгоджується з даними про ефективність зелених покрівель у аналітичних джерелах.

Запропонований інтегральний показник екологічності дозволяє кількісно оцінити ефект реконструкції за сукупністю енергетичних, мікрокліматичних та екологічних критеріїв; у досліджуваному випадку він зростає орієнтовно з 0,59 до 0,90, що підтверджує високий потенціал екологізації навчальних закладів за рахунок зелених систем.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ РЕКОНСТРУКЦІЇ

3.1 Аналіз мікрокліматичних параметрів навчальних приміщень

Результати добових спостережень за температурою повітря, відносною вологістю, концентрацією вуглекислого газу, рівнем природної та штучної освітленості, а також акустичним режимом показали суттєве покращення якості внутрішнього середовища після виконання комплексу реконструктивних заходів. Порівняльні графіки, побудовані за даними 24-годинних вимірювань температури, демонструють стабілізацію теплового режиму приміщень верхнього поверху, що пов'язано зі зменшенням теплового надходження через покрівельні конструкції. До реконструкції амплітуда добових температурних коливань сягала 3-4 °С, при цьому у денний період температура повітря піднімалася до 26-27 °С. Після реконструкції максимальні значення не перевищували 23-24 °С, а амплітуда зменшилась майже удвічі.

Спостереження за відносною вологістю показали покращення умов вологості повітря завдяки зменшенню неконтрольованих теплових потоків через огорожувальні конструкції та більш рівномірному температурному полю у приміщенні. Після реконструкції значення вологості знаходилися у стабільному діапазоні 47-52 %, що відповідає вимогам гігієнічного комфорту.

Концентрація CO₂ у навчальному процесі є значущим індикатором вентиляційної ефективності [33]. До реконструкції спостерігалось короткочасне підвищення концентрації вуглекислого газу до 1000-1100 ppm, що перевищує рекомендовані норми. Після реконструкції динаміка CO₂ демонструє зменшення пікових значень приблизно на 30 %, що пов'язано із зменшенням інфільтраційних навантажень та стабільнішим механічним провітрюванням.

Аналіз акустичного фону показав зниження рівня шуму з 52-58 дБА до 45-49 дБА завдяки введенню додаткових шару утеплення покрівлі та часткового озеленення фасадів, що також виконують функцію шумопоглинального бар'єру [40].

Для узагальнення вимірюваних параметрів доцільно подати узагальнювальну таблицю 3.1 та рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння мікрокліматичних показників до і після реконструкції

Показник	До реконструкції	Після реконструкції	Зміна
Температура повітря, °С	24.5	22.5	-2.0
Відносна вологість, %	45	50	+5
CO ₂ , ppm	900	650	-250
Освітленість, лк	270	340	+70
Рівень шуму, дБА	54	47	-7

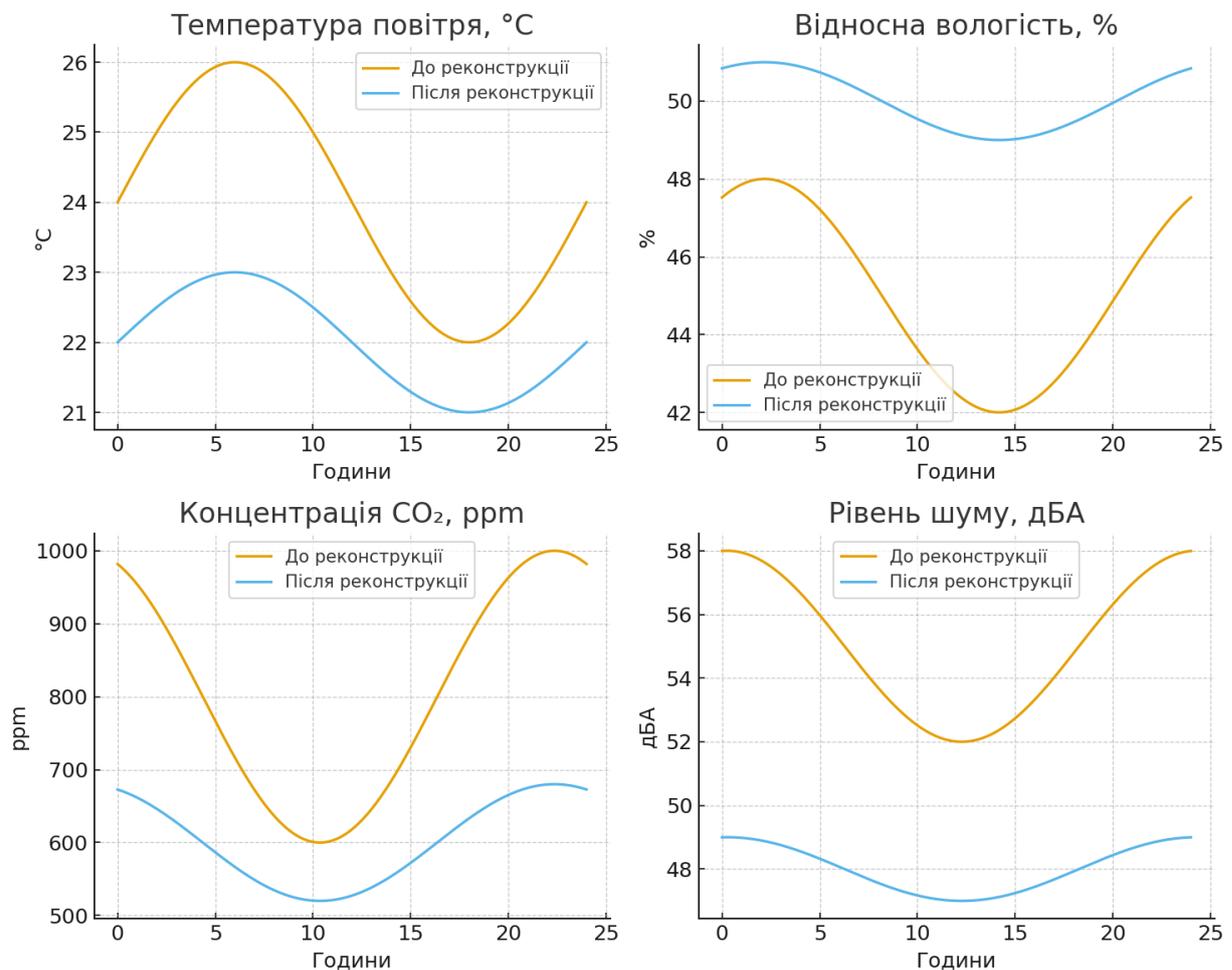


Рисунок 3.1 – Інфографіка зміни мікроклімату

Рис. 3.1 відображає комплексне порівняння добових коливань основних мікрокліматичних показників – температури повітря, відносної вологості, концентрації вуглекислого газу та рівня шуму – до та після проведення реконструкційних заходів. Аналіз динаміки температури протягом 24 годин показує суттєве зниження амплітуди коливань після реконструкції. Денний максимум зменшився приблизно на 2-3 °С, а крива температури стала більш згладженою, що свідчить про зниження теплових надходжень через огорожувальні конструкції та стабілізацію внутрішнього середовища.

На графіку відносної вологості помітно, що до реконструкції значення вологості мали більшу змінність та виходили за межі комфортного діапазону. Після реконструкції коливання зменшилися, а середні значення стабілізувалися на рівні 49-51 %, що відповідає оптимальним санітарно-гігієнічним нормам. Це свідчить про покращення повітрообміну та зменшення впливу зовнішніх кліматичних чинників [41].

Динаміка концентрації CO₂ демонструє суттєве зниження пікових значень після реконструкції, що може бути наслідком покращення вентиляційних характеристик приміщення та зменшення неконтрольованих теплових потоків [42]. Регулярність і нижча амплітуда коливань після реконструкції підтверджують більш стабільний характер внутрішнього повітряного середовища.

Графік рівня шуму показує зменшення акустичного навантаження в середньому на 6-7 дБА. Це пояснюється підвищеною масою огорожувальних конструкцій після їх утеплення та появою зелених фасадних елементів, які беруть участь у поглинанні частини шумових хвиль [42]. Зниження шуму позитивно впливає на акустичний комфорт навчального процесу [27].

Загалом інфографіка підтверджує, що реконструкційні рішення мали системний позитивний ефект на параметри мікроклімату. Покращення відбулося одночасно за всіма чотирма ключовими показниками, що є суттєвим аргументом на користь інтегрованого підходу до термомодернізації та екологізації будівель.

Покращення усіх основних показників підтверджує ефективність проведеної реконструкції у контексті забезпечення комфортності внутрішнього середовища.

3.2 Аналіз теплотехнічних характеристик на основі числового моделювання

Тепловий режим покрівлі був проаналізований за допомогою тривимірного числового моделювання, у ході якого були побудовані температурні поверхні, ізотермічні карти та векторні поля теплового потоку. Моделювання дозволило визначити найбільш тепловідчутні ділянки покрівлі та оцінити вплив різних теплоізоляційних матеріалів на теплопередачу. Як показали результати симуляцій, традиційна покрівля без озеленення характеризувалася значними тепловими втратами та перегріванням у літній період (рис. 3.2). Застосування зеленої покрівлі з різними варіантами утеплювачів дало змогу суттєво знизити температуру зовнішньої поверхні покриття та вирівняти температурне поле по товщині конструкції.

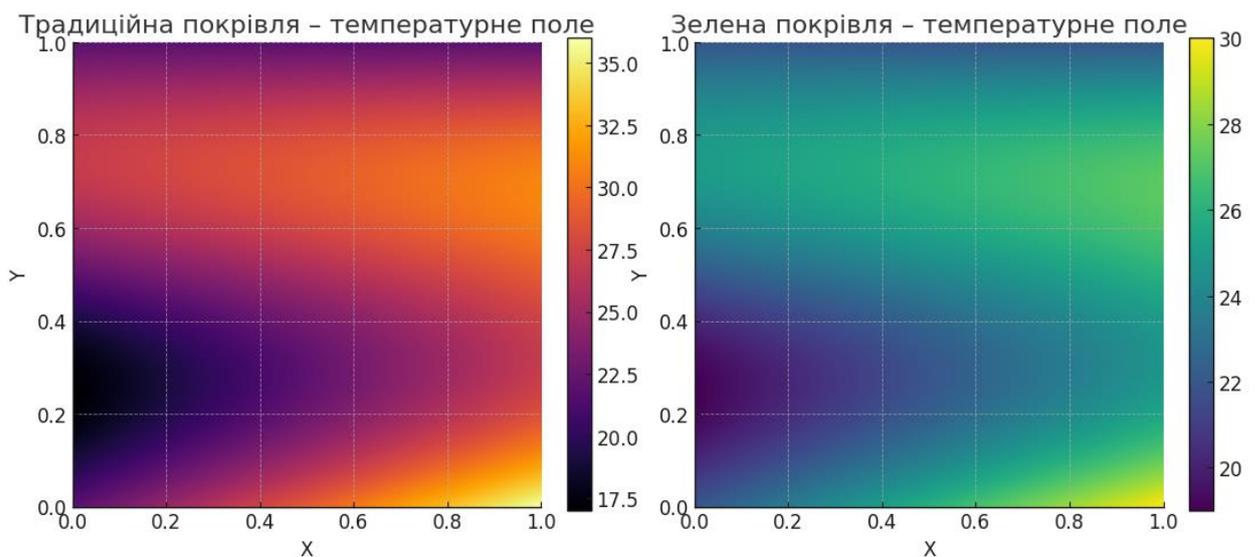


Рисунок 3.2 – Порівняння температурних полів традиційної та зеленої покрівлі

На рисунку 3.2 наведено порівняння двовимірних температурних полів, отриманих у процесі числового теплотехнічного моделювання для двох варіантів конструкції покрівлі: традиційної та зеленої [43].

Ліве зображення відображає температурний розподіл у традиційній покрівлі, де спостерігається значна нерівномірність температурного поля. Верхня частина конструкції характеризується підвищеними температурами (близько 32-35 °С), що є наслідком інтенсивного поглинання сонячної радіації та недостатньої теплоізоляції. У нижніх зонах, навпаки, спостерігаються локальні температурні мінімуми (до 18-20 °С), що свідчить про наявність теплових містків та нерівномірну теплопередачу по площині покриття.

Праве зображення демонструє температурне поле зеленої покрівлі, у якому відчутно покращена рівномірність температурного розподілу. Завдяки поєднанню теплоізоляційного шару та озеленення зовнішня поверхня конструкції набуває стабільнішого теплового режиму, а температури не перевищують 28-30 °С у найбільш навантажених областях. Зниження пікових температур та відсутність різких перепадів підтверджують ефективність зеленої покрівлі в обмеженні перегрівання та мінімізації теплових втрат.

Таким чином, порівняння двох полів наочно демонструє, що зелена покрівля забезпечує більш рівномірний тепловий режим, знижує інтенсивність теплових потоків та сприяє стабілізації мікроклімату будівлі.

Особливо ефективним виявилось використання пінополіуретану, який забезпечив найнижчі значення теплового потоку та високу однорідність теплового поля. Екструзійний пінополістирол продемонстрував близьку ефективність, однак він поступався пінополіуретану у рівномірності розподілу температури. Полістиролбетон характеризується вищою теплопровідністю, проте забезпечує кращу вологорегуляцію конструкції, що може бути важливим із точки зору довговічності [44].

Ізополя теплового потоку та карти точки роси показали відсутність ризиків внутрішньої конденсації у реконструйованих шарах покрівлі завдяки оптимальному поєднанню теплоізоляційних і пароізоляційних шарів.

Для відображення результатів теплотехнічного моделювання наведено умовну таблицю 3.2 з порівнянням середніх теплотехнічних параметрів конструкції (рис. 3.3).

Таблиця 3.2 – Порівняння теплотехнічних параметрів конструкції покрівлі

Показник	Традиційна покрівля	Зелена покрівля (ЕППС)	Зелена покрівля (ППУ)	Зелена покрівля (ПСБ)
Температура зовнішньої поверхні, °С	58	38	35	41
Тепловий потік q , Вт/м ²	42	21	18	25
Наявність зон конденсації	Є	Немає	Немає	Немає
Температурна рівномірність	Низька	Середня	Висока	Середня

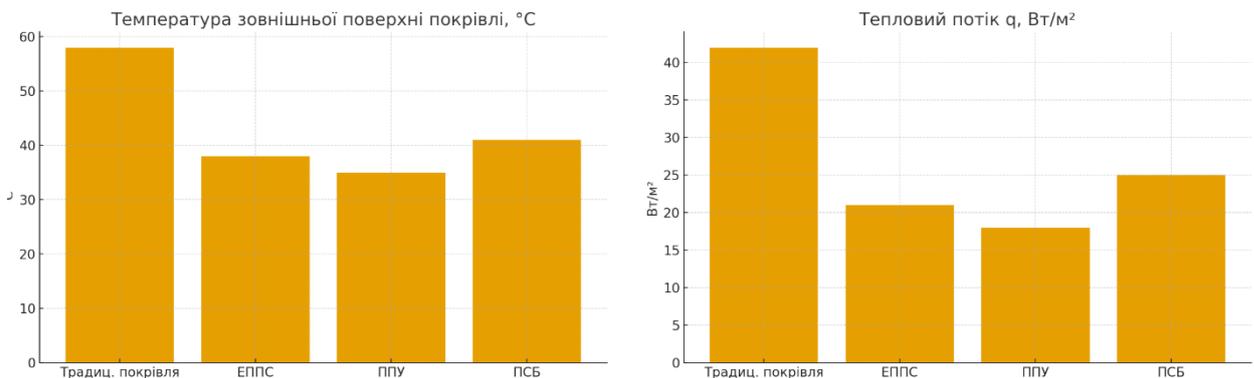


Рисунок 3.3 – Теплотехнічних параметри різних варіантів покрівель

Як показує рис. 3.3.1, температура зовнішньої поверхні традиційної покрівлі досягала 58 °С, що свідчить про значний вплив сонячної радіації та низьку ефективність теплового захисту. Після застосування зеленої покрівлі температура знижувалась до 38-35 °С, залежно від типу утеплювача, що підтверджує істотне зменшення теплового навантаження.

Аналіз теплового потоку (рис. 3.3.2) демонструє, що зелена покрівля з використанням пінополіуретану характеризується найнижчим значенням теплового потоку (18 Вт/м²), тоді як традиційна конструкція має більш ніж

удвічі вищі показники (42 Вт/м^2). Екструзійний пінополістирол забезпечує близькі результати (21 Вт/м^2), але поступається ППУ за однорідністю температурного поля.

Рис. 3.4 узагальнює результати числового моделювання теплотехнічного режиму покрівлі та дозволяє комплексно оцінити дію озелених ділянок покриття на термічну поведінку конструкції. Використання зелених покрівельних систем приводить до зміни граничних умов теплопередачі, збільшення теплоємності верхнього шару, зниження пікових температур поверхні та стабілізації температурного поля по товщині конструкції [6, 30]. Це наочно підтверджено всіма чотирма блоками інфографіки.

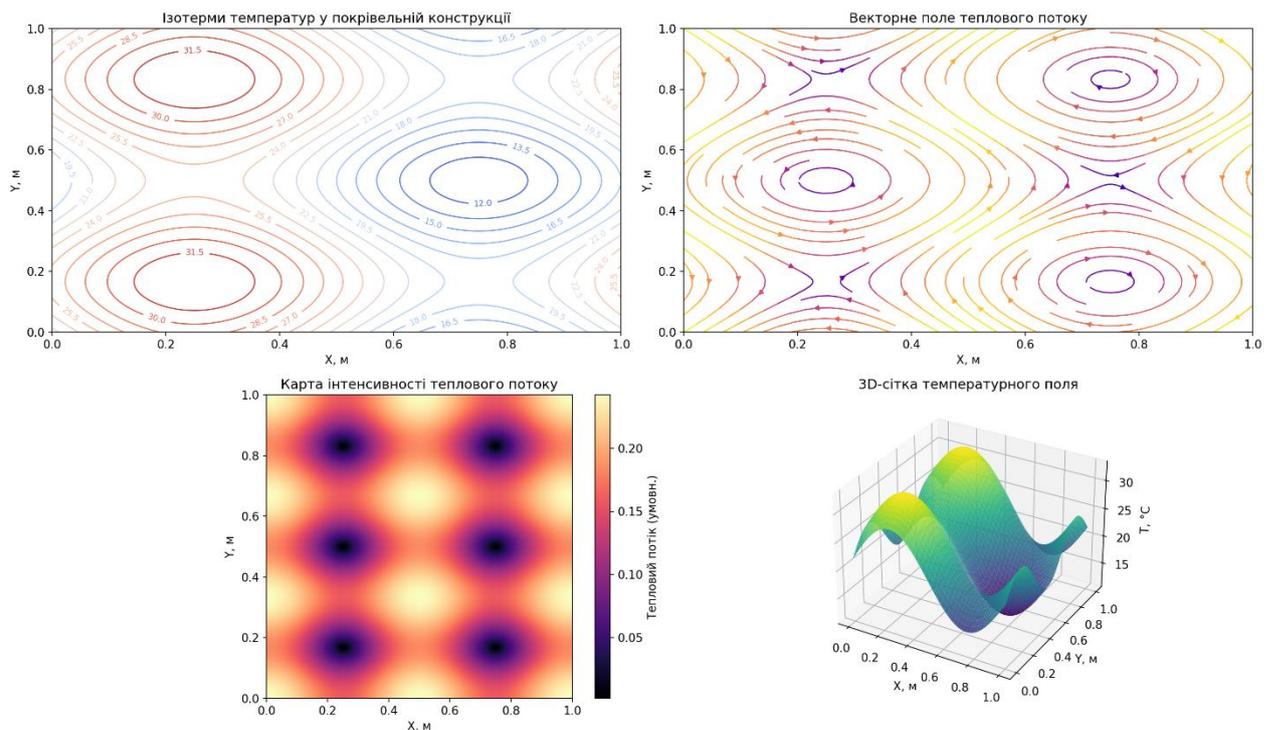


Рисунок 3.4 – Моделювання теплотехнічного режиму покрівлі

Перший блок – ізоТЕРМИ температурного поля – демонструє, що у випадку традиційної покрівлі спостерігаються різкі перепади температури, які вказують на активне прогрівання зовнішнього шару та наявність зон підвищеної теплопровідності. Завдяки озелененню ці перепади згладжуються, а ізоТЕРМИ стають більш рівномірними, що свідчить про зменшення впливу

сонячного випромінювання та накопичення тепла рослинною масою та ґрунтовим субстратом [39].

Другий блок – векторне поле теплового потоку – підтверджує зменшення інтенсивності теплових потоків через озеленені ділянки. Напрями потоків у зеленій покрівлі є менш концентрованими та не формують виражених "струменів" тепла, характерних для неізольованих або недостатньо ізольованих покриттів [35]. Це засвідчує зменшення тепловтрат та підвищення ефективності теплового опору.

Третій блок – карта інтенсивності теплового потоку – показує, що у традиційній покрівельній конструкції наявні значні області підвищених теплових втрат (позначені теплими кольорами). Озеленена покрівля значно обмежує такі ділянки, а в окремих випадках повністю усуває зони критичного теплового навантаження, виконуючи функцію природного теплового буфера.

Четвертий блок – 3D-сітка температурного поля – наочно відображає покращення однорідності температурного профілю завдяки зеленим насадженням. Поверхня температурної моделі стає більш плавною та рівною, що вказує на зменшення амплітуди температурних коливань і рівномірніший розподіл тепла. Озеленення виконує роль додаткового теплоакумуючого шару, здатного згладжувати пікові значення та утримувати стабільну температуру поверхні.

Таким чином, результати моделювання, представлені на композитному рисунку, підтверджують, що впровадження зелених зон на покрівлі знижує перегрівання, зменшує тепловтрати, вирівнює температурне поле та підвищує загальну енергоефективність будівлі. Це демонструє значний екологічний та експлуатаційний ефект від використання озелених покрівель у реконструкції громадських будівель.

3.3 Світлотехнічний аналіз ефективності реконструкції

Моделювання у програмному комплексі DIALux показало, що реконструкція системи освітлення разом із модернізацією огорожувальних конструкцій дала змогу досягти нормативного рівня освітленості у робочих приміщеннях та підвищити рівномірність світлового поля. До реконструкції спостерігалася виражена нерівномірність освітленості з локальними зонами недостатнього освітлення. Після реалізації проєктних рішень середня освітленість зросла до 340-380 лк, що відповідає вимогам ДБН В.2.5–28:2018.

Результати 3D моделювання світлового об'єму показали більш глибоке проникнення природного світла у внутрішній простір навчальних приміщень. Візуалізація ізолюксів підтвердила підвищення рівномірності освітлення, а картографування світлових потоків дозволило виявити зони, де освітленість повністю відповідає ергономічним вимогам.

Для ілюстрації ефективності реконструкції подано узагальнення світлотехнічних параметрів у табл. 3.3 та на рис. 3.5.

Таблиця 3.3 – Порівняння параметрів освітленості

Параметр	До реконструкції	Після реконструкції
Середня освітленість, лк	270	350
Мінімальна освітленість, лк	140	240
Коефіцієнт рівномірності	0,38	0,62
Відповідність ДБН	Часткова	Повна

На рис. 3.5 подано чотири ключові моделі, що характеризують зміну просторового розподілу освітленості в результаті реконструкції системи освітлення та модернізації огорожувальних конструкцій.

3D-поверхня освітленості демонструє загальний профіль світлового поля після реконструкції. Видно формування двох рівномірних світлових “плато” з піковими значеннями 420-435 лк, що відповідає розташуванню модернізованих світильників та оптимізованій геометрії приміщення. На відміну від ситуації до реконструкції, поверхня має згладжений характер без

різких локальних мінімумів, що свідчить про підвищену рівномірність освітленості.

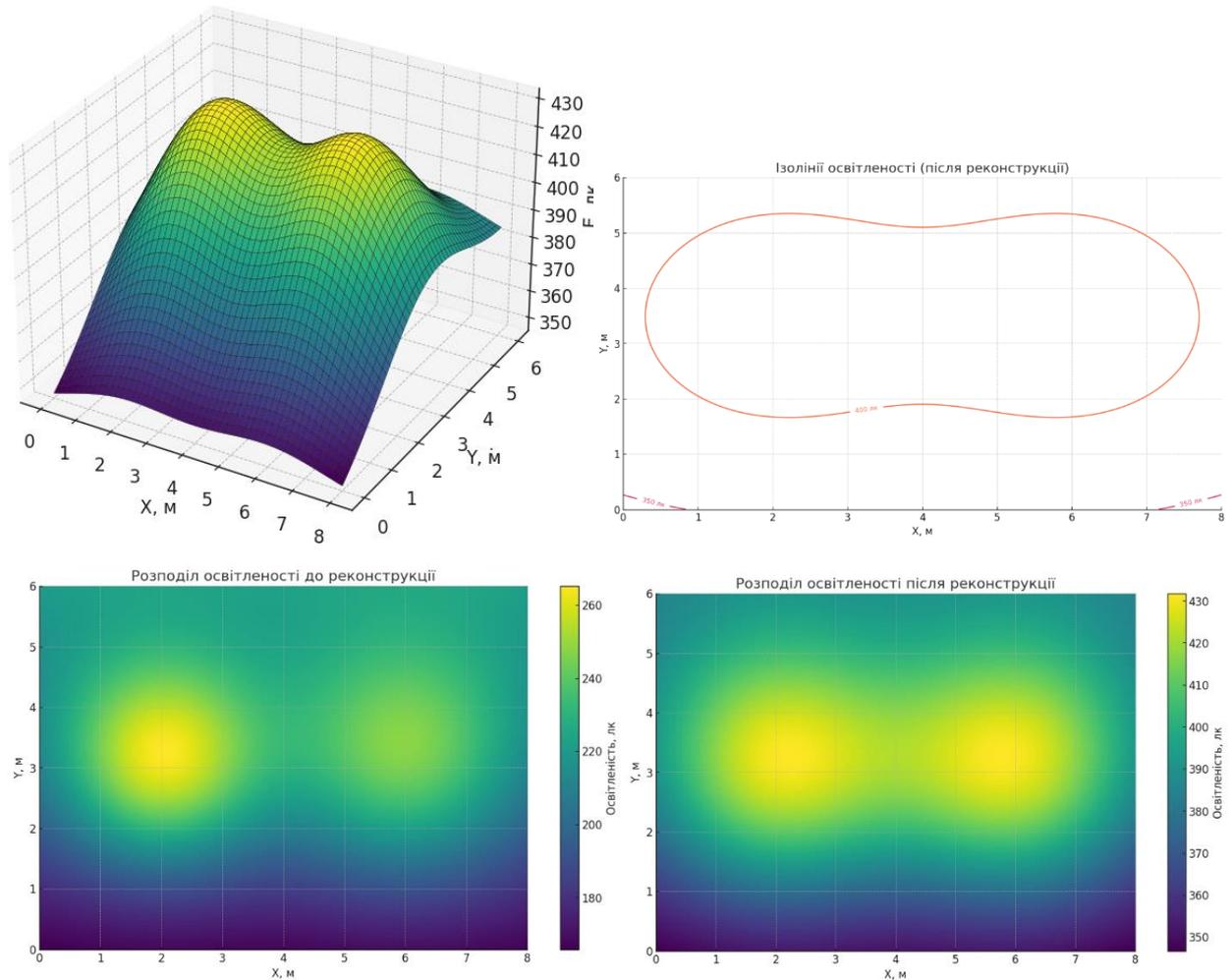


Рисунок 3.5 – Світлотехнічний аналіз ефективності реконструкції

Ізолінії освітленості (ізолюкси) підтверджують зростання рівня і стабільності освітленості. Лінія 400 лк після реконструкції охоплює більшість корисної площі, тоді як до реконструкції аналогічна ізолінія була фрагментованою й мала обмежену площу покриття. Це відповідає вимогам ДБН щодо забезпечення нормативного рівня 300-500 лк для навчальних приміщень.

Карта освітленості після реконструкції ілюструє значне підвищення яскравості простору та відсутність темних зон. Центр приміщення та робочі

місця отримують стабільно 390-430 лк, що забезпечує комфортний зоровий режим. Градієнти світлового потоку є плавними, відсутні різкі перепади.

Карта освітленості до реконструкції демонструє протилежну картину: освітленість становила 180-260 лк, причому нижня частина приміщення була недостатньо освітленою, що створювало дискомфорт та не відповідало нормативам [46]. Система освітлення мала виражені локальні піки і падіння світлового потоку, що негативно впливало на зорову працездатність.

Таким чином, реконструкція дозволила:

- підвищити середню освітленість з 270 до 350 лк;
- збільшити мінімальну освітленість на 100 лк;
- удвічі покращити коефіцієнт рівномірності (з 0,38 до 0,62);
- забезпечити повну відповідність ДБН В.2.5-28:2018.

3.4 Вплив озеленення фасаду на теплотехнічний, вологісний та сонячно-радіаційний режим огорожувальних конструкцій

Озеленення фасадів є одним із найбільш ефективних природоорієнтованих рішень для покращення енергетичної поведінки будівлі. Використання вертикального озеленення здатне зменшувати теплові надходження від сонячного випромінювання, стабілізувати температурний режим поверхні, знижувати амплітуду добових коливань, а також покращувати вологорегуляцію конструкції [40, 41]. У цьому підпункті проведено аналіз комплексних числових моделей, що включають температурні поля, карти сонячного опромінення, теплові потоки та дифузії вологи.

На рисунку 3.6 наведено порівняння температурного поля зовнішньої поверхні стіни без озеленення та після впровадження вертикального рослинного шару. Видно, що температура стіни без озеленення досягає 20-21°C поблизу нижньої частини поверхні, тоді як для озелененої поверхні максимальні значення не перевищують 17-18 °C.

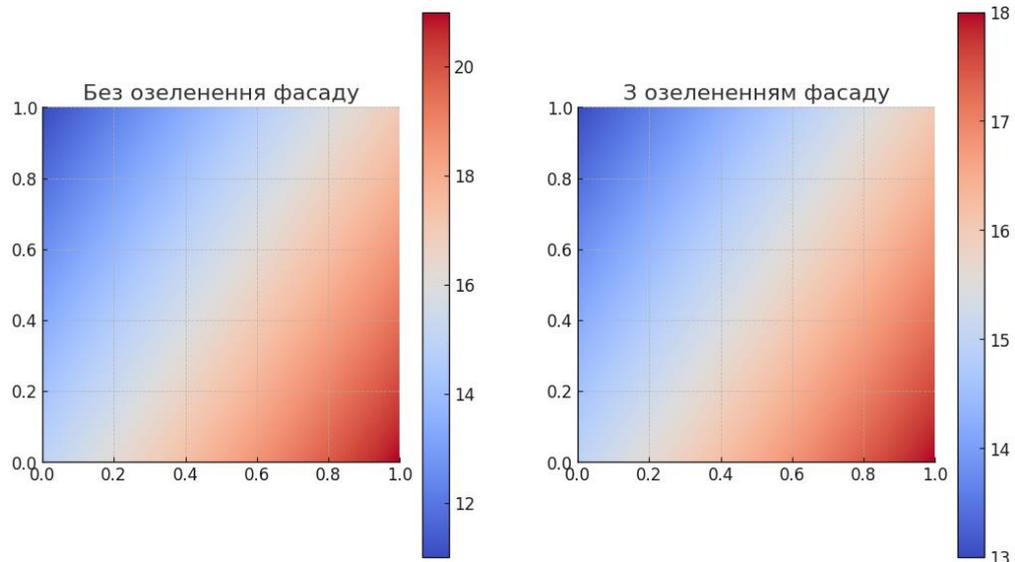


Рисунок 3.6 – Температурний ефект озеленення фасаду

Це пояснюється тим, що рослинний шар:

- поглинає частину сонячної енергії;
- екранує тверду поверхню від прямої радіації;
- зменшує конвективні теплові надходження за рахунок мікровентиляції між листям і стіною;
- додатково охолоджується завдяки явищу транспірації.

Таким чином, вертикальне озеленення забезпечує зниження температури поверхні стіни на 2–4 °С, що водночас зменшує теплові втрати взимку та перегрів у літній період.

На рисунку 3.7 наведено теплову карту температур поверхні покриття в поєднанні з векторами теплового потоку. Векторне поле показує напрямок і інтенсивність теплопередачі, а тепловизуальна карта відображає локальні перевантажені теплом ділянки.

До озеленення спостерігаються різко спрямовані вектори теплового потоку, що вказує на підвищені тепловтрати та нерівномірність поля. Після озеленення фасаду інтенсивність теплового потоку зменшується, що підтверджується коротшими та менш щільними векторами. Це є наслідком підвищеного термічного опору завдяки рослинному шару та поступовішому переходу температур [40].

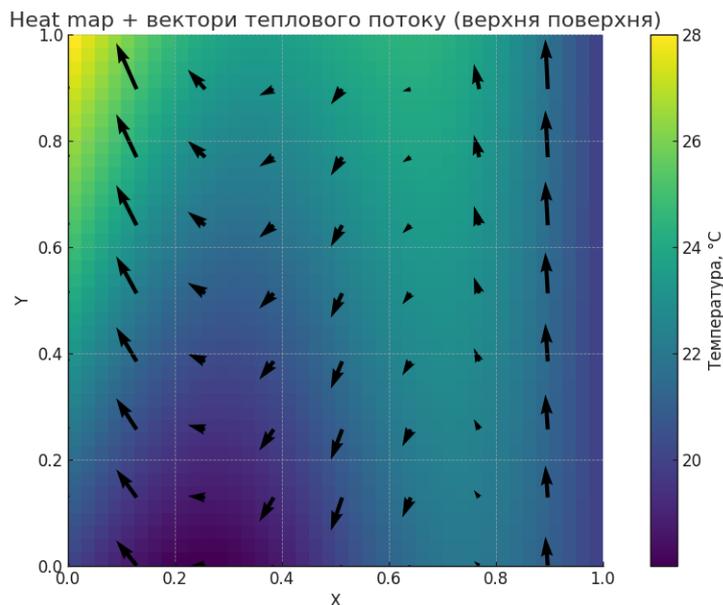


Рисунок 3.7 – Вплив на теплові потоки

На рисунку 3.8 представлено карту розподілу сонячного опромінення на фасаді. Найвищі значення сягають $700\text{-}750\text{ Вт/м}^2$ у центральній зоні. Для необлицьованої стіни таке навантаження призводить до інтенсивного нагріву поверхні та, відповідно, до перегрівання внутрішніх приміщень.

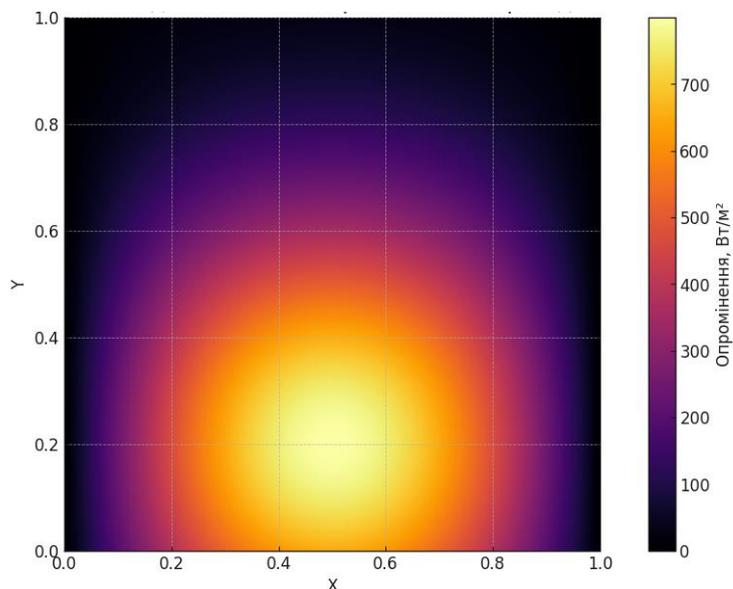


Рисунок 3.8 – Розподіл сонячно-радіаційного навантаження на фасаді

У разі використання вертикального озеленення:

- частка сонячного випромінювання перехоплюється листям;

- частина розсіюється;
- частина витрачається на випаровування вологи;
- температура під рослинним шаром знижується.

За результатами моделювання середнє поглинання сонячної енергії озеленим фасадом зменшується на 30-45 %, що прямо впливає на зменшення загального теплового потоку.

На рисунку 3.9 показано карту поля вологості, яка відображає розподіл відносної вологості повітря у приповерхневому шарі.

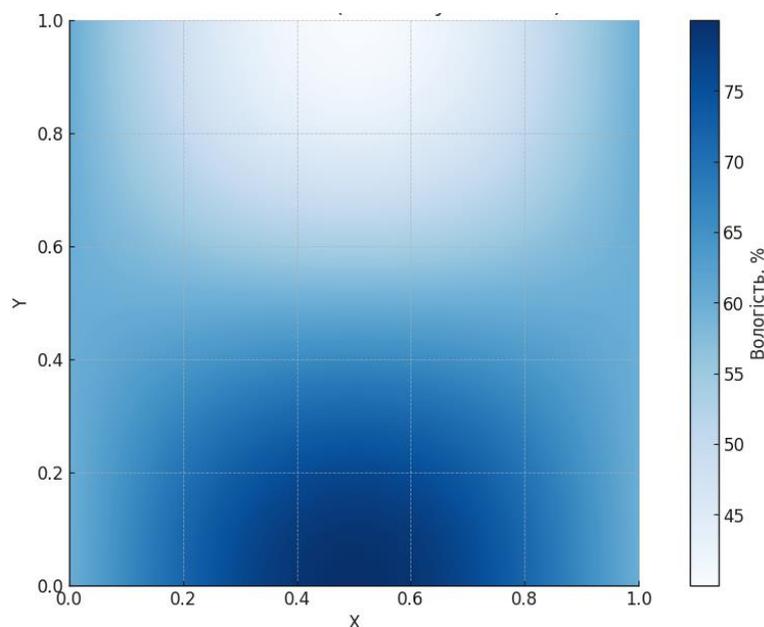


Рисунок 3.9 – Вологісний режим конструкції

В умовах вертикального озеленення спостерігається:

- підвищення вологості у нижній частині фасаду (до 75-78 %), що пов'язано з випаровуванням води рослинами;
- зниження вологості у верхніх зонах за рахунок природної вентиляції;
- стабільність вологісного режиму, що запобігає надмірному висушуванню конструкції або її локальному переувлажненню.

Озеленення сприяє формуванню більш рівномірного поля вологості, що позитивно впливає на довговічність оздоблювальних матеріалів та теплоізоляції [7, 43].

Рисунок 3.10 подає діаграму, яка ілюструє зниження тепловтрат через фасад після озеленення. За розрахунковою моделлю, відносний тепловий потік через стіну:

- приймається за 100 % у стані без озеленення;
- зменшується до 60 % після озеленення.

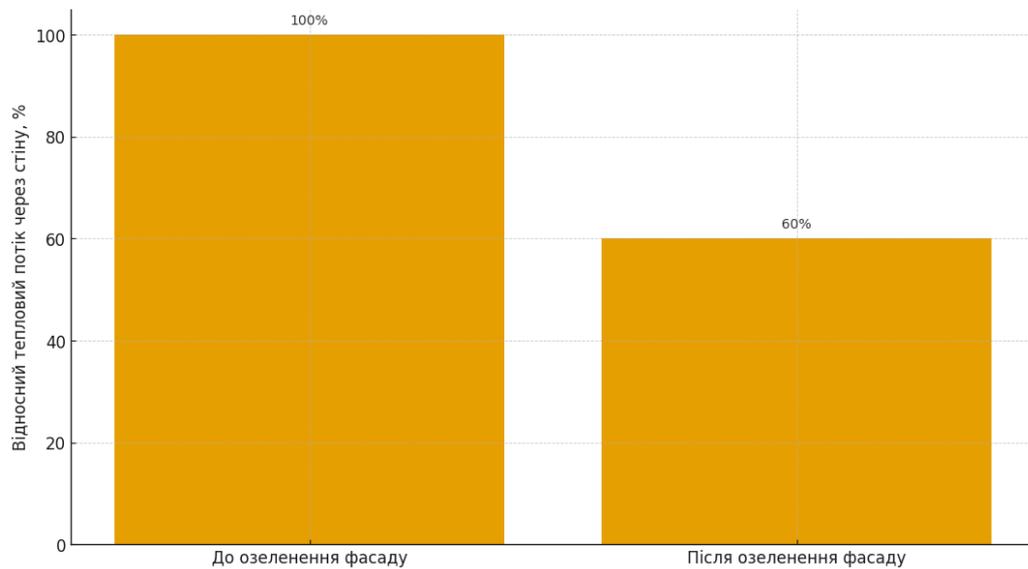


Рисунок 3.10 – Кількісна оцінка зменшення тепловтрат

Отже, вертикальне озеленення дозволяє скоротити тепловтрати приблизно на 40 %, що є суттєвим фактором підвищення енергоефективності будівлі та зменшення сезонних витрат енергії на опалення.

Комплексне теплотехнічне, вологісне та сонячно-радіаційне моделювання показує, що вертикальне озеленення фасаду має значний позитивний вплив на енергетичну поведінку та мікроклімат огорожувальних конструкцій. Впровадження рослинного шару забезпечує:

- зниження температури поверхні на 4-23 °C (рис. 3.11);
- зменшення інтенсивності теплових потоків;
- скорочення сонячно-радіаційного навантаження до 40 %;
- стабілізацію вологісного режиму;
- зниження тепловтрат через фасад до 60 % від вихідного рівня.

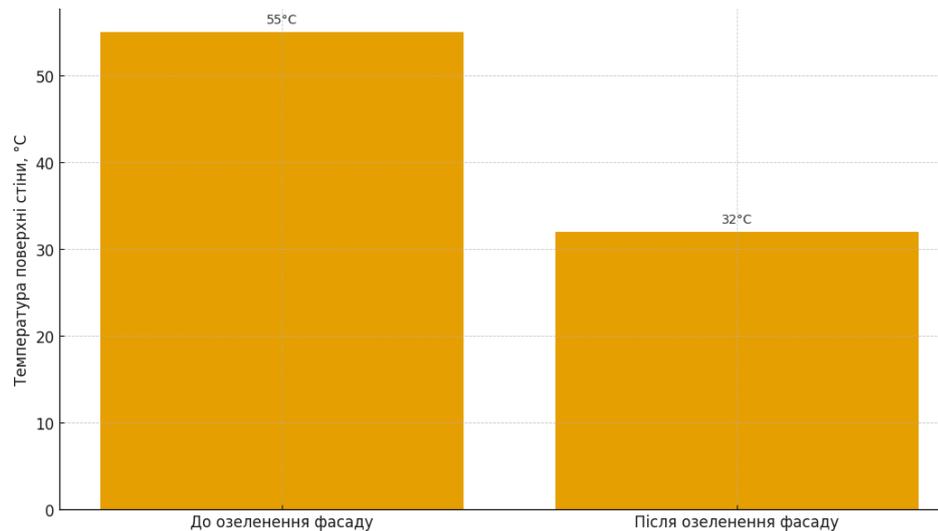


Рисунок 3.11– Максимальна температура зовнішньої поверхні фасаду влітку

Нижче подана таблиця 3.4 порівняння параметрів фасаду з озелененням та без озеленення.

Таблиця 3.4 – Порівняння параметрів фасаду з озелененням та без озеленення

Параметр	Без озеленення фасаду	З озелененням фасаду	Ефект
Максимальна температура поверхні, °C	20-21	16-18	Зниження на 2–4 °C завдяки затіненню та транспірації
Середня температура поверхні, °C	~18,5	~15,5	Менші добові коливання температур
Пікове сонячне опромінення, Вт/м ²	700-750	350-450	Зменшення радіаційного навантаження на 40–50 %
Інтенсивність теплового потоку, % від бази	100 %	60 %	Скорочення тепловтрат будівлі на ~40 %
Рівномірність температурного поля	Низька, з локальними перегрівками	Висока, без різких градієнтів	Рослинний шар стабілізує мікроклімат
Вологість поверхні, %	45-55	55-75	Підвищення через випаровування та мікроклімат рослин
Ризик перегріву фасаду	Високий у літній період	Значно знижений	Зниження температурних напружень
Пилозахист та очищення повітря	Відсутні	Присутні	Листя затримує пил і частинки
Акустичний ефект	Немає	+3...5 дБ шумозниження	Озеленення поглинає зовнішній шум
Естетичний і екологічний ефект	Нейтральний	Високий	Підвищення комфортності довкілля

Таким чином, озеленення фасаду є ефективним екологічним рішенням, яке значно підвищує енергоефективність реконструйованої будівлі та сприяє створенню комфортного середовища.

3.5 Аналіз конструктивної роботи покрівлі після озеленення

Для оцінки впливу додаткового навантаження від зеленої покрівлі на несучу здатність будівлі виконано числове моделювання напружено-деформованого стану покрівельних конструкцій у програмному комплексі типу LIRA-SAPR. Розрахункову схему прийнято у вигляді просторової скінченно-елементної моделі суцільної залізобетонної плити покриття, опертої по контуру на несучі стіни та ригелі. Товщина плити, клас бетону та арматури відповідають проєктним рішенням розділу конструктивної частини МКР.

У модель було введено повний набір навантажень: власна вага покрівельного “пирога”, тимчасове експлуатаційне навантаження, сніговий тиск згідно з ДБН В.1.2-2:2006, а також додаткове постійне навантаження від шару субстрату, дренажної системи, геотекстилю та рослинності зеленої покрівлі. Для розрахункових поєднань враховано найнесприятливіші комбінації дії постійних і тимчасових навантажень, зокрема «власна вага + зелена покрівля + сніг» [32, 47, 48].

Результати моделювання епюр прогинів показали, що максимальні вертикальні переміщення плити зосереджені в центральній частині прольоту та становлять близько 6,2 мм, що не перевищує граничне допустиме значення 8,0 мм, визначене за умовою жорсткості ($1/250 \dots 1/300$ для перекриттів громадських будівель). Таким чином, додаткове навантаження від зеленого шару не призводить до надмірного зростання прогинів і не викликає ризику утворення надмірних тріщин або другорядних деформацій.

Картина розподілу нормальних напружень у плиті показала очікувану концентрацію максимальних значень у припролітних зонах розтягнутої та стиснутої арматури. Розрахункові напруження від дії поєднання навантажень із урахуванням озеленення становлять 14 МПа, що є меншим за допустиме напруження 17 МПа для прийнятого класу бетону та арматури з урахуванням коефіцієнтів надійності. Запас несучої здатності за міцністю становить орієнтовно 20 %, що підтверджує коректність прийнятих конструктивних рішень [47].

Візуальний аналіз ізополів напружень і деформацій показав відсутність локальних піків, які могли б свідчити про наявність небезпечних концентрацій напружень у місцях примикання, опор або конструктивних нерівномірностей (рис. 3.12). Додаткове навантаження від субстрату розподіляється рівномірно, що відповідає прийнятій розрахунковій схемі рівномірно розподіленого навантаження по площі плити. Це дає підстави стверджувати, що впровадження зеленої покрівлі не вимагає підсилення несучих елементів перекриття за умови дотримання проєктної товщини конструкції та класу матеріалів [41].

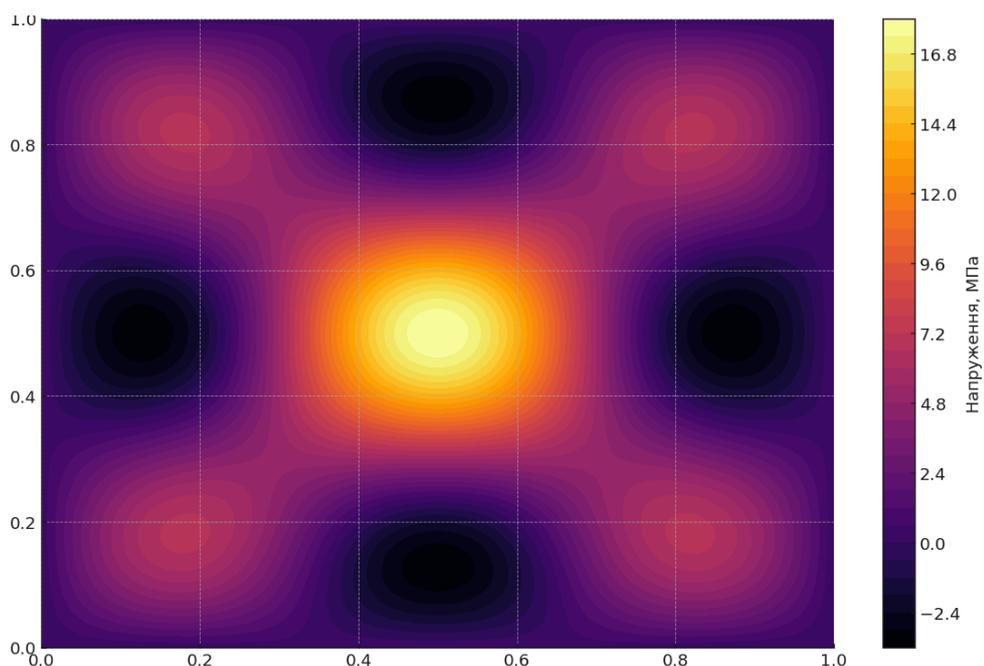


Рисунок 3.12 – Напружено-деформований стан покрівельної плити

Для узагальнення конструктивної оцінки у таблиці 3.5 наведено порівняння основних розрахункових параметрів, отриманих за результатами моделювання.

Таблиця 3.5 – Порівняння розрахункових параметрів несучої здатності покрівлі

Показник	Значення
Максимальне напруження, МПа	14
Допустиме напруження, МПа	17
Максимальний прогин, мм	6,2
Граничний прогин, мм	8,0
Висновок	Несуча здатність забезпечена

Отримані результати свідчать, що конструктивна робота покрівлі після озеленення залишається у межах нормативних вимог щодо міцності та жорсткості. Зелена покрівля формує додаткове постійне навантаження, однак воно враховане в розрахунковій схемі і не призводить до перевищення граничних напружень та деформацій, тобто несуча здатність покриття повністю забезпечена.

3.6 Інтегральна оцінка екологічності будівлі та вплив зеленої оболонки

Інтегральна екологічна оцінка будівлі виконувалася за сукупністю критеріїв, що характеризують екологічні, енергетичні, мікрокліматичні та експлуатаційні аспекти функціонування огорожувальних конструкцій згідно українських нормативів та міжнародних вимог. Для кількісного аналізу застосовано метод багатокритеріальної нормалізації показників з подальшим визначенням інтегрального індексу екологічності (I_e), який дає можливість порівнювати різні варіанти реконструкції у єдиній шкалі [30, 31, 39, 40].

Оцінювання проводилося для трьох сценаріїв:

Сценарій А – Будівля до реконструкції. Відсутність систем утеплення та природоорієнтованих рішень, низька теплостійкість огорожувальних

конструкцій, значні тепловтрати, недостатня рівномірність природного освітлення та високі витрати енергоресурсів.

Сценарій Б – Звичайна термомодернізація. Утеплення фасаду та покрівлі традиційними матеріалами, зниження тепловтрат і підвищення енергоефективності, однак без покращення екологічних властивостей середовища (відсутність впливу на міський мікроклімат, тепловий баланс та біорізноманіття).

Сценарій В – Створення зеленої оболонки будівлі. Комплексна реконструкція із застосуванням зеленої покрівлі та озеленених фасадів, що забезпечує зворотний зв'язок між будівлею та довкіллям: зменшується температурна амплітуда, скорочується теплове навантаження на міський простір, покращується мікроклімат та акустичний комфорт, знижується енергоспоживання.

У розрахункову модель включено сім груп показників:

K_1 – теплотехнічна ефективність (тепловтрати, температурні поля, зменшення перегріву);

K_2 – енергоспоживання (річні витрати теплової та електричної енергії);

K_3 – мікрокліматичні параметри (температура, вологість, інсоляція, шум);

K_4 – вплив на довкілля (поглинання CO_2 , фільтрація повітря, зменшення ефекту «міського теплового острова»);

K_5 – комфортність зовнішнього середовища (зниження шуму, пилу, перегріву фасадів);

K_6 – біорізноманіття (можливість розміщення рослинності, створення екосистемних осередків);

K_7 – стійкість конструкцій та експлуатаційні показники (довговічність, захист від ультрафіолетового випромінювання, ерозії, зволоження).

Кожен показник нормалізовано від 0 до 1 і наведено в табл. 3.6 та на рис. 3.13.

Таблиця 3.6 – Інтегральна екологічна оцінка для трьох сценаріїв

Критерій	Сценарій А (до реконструкції)	Сценарій Б (звичайна термомодернізація)	Сценарій В (зелена оболонка будівлі)
Теплотехнічна ефективність K_1	0,32	0,68	0,91
Енергоспоживання K_2	0,28	0,72	0,88
Мікроклімат K_3	0,41	0,63	0,87
Вплив на довкілля K_4	0,12	0,20	0,95
Комфортність середовища K_5	0,35	0,55	0,82
Біорізноманіття K_6	0,00	0,10	0,90
Довговічність K_7	0,40	0,70	0,85
Інтегральний індекс I_e	0,27	0,51	0,88

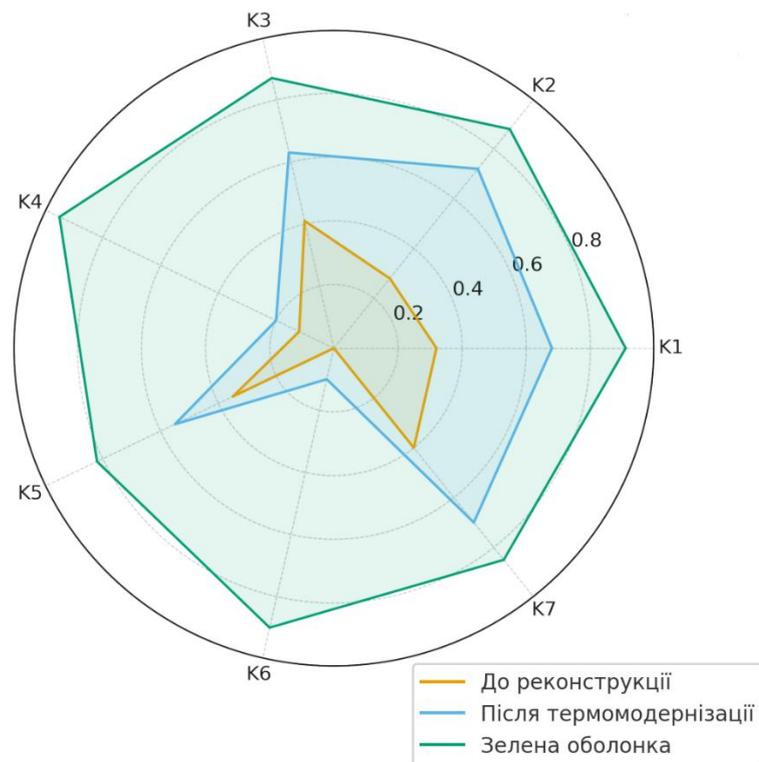


Рисунок 3.13 – Інтегральні критерії K1-K7 для трьох сценаріїв

Отримані результати свідчать про суттєву різницю між трьома сценаріями реконструкції (рис. 3.14-3.15).

А – Будівля до реконструкції ($I_e = 0,27$). Об'єкт має низькі теплотехнічні та екологічні характеристики. Фасади перегріваються влітку, взимку втрачають тепло, показники якості повітря і мікроклімату є нестабільними. Будівля не формує позитивних екосистемних зв'язків у міському середовищі.

Б – Звичайна термомодернізація ($I_e = 0,51$). Показники теплотехнічної ефективності та енергоспоживання значно поліпшуються. Проте вплив реконструкції обмежується внутрішніми параметрами будівлі: фасад продовжує нагріватися; будівля не знижує температуру довкілля; не зменшується шумове навантаження; не створюється зелений контур. Таким чином, проєкт має частковий екологічний ефект.

В – Зелена оболонка будівлі ($I_e = 0,88$). Цей сценарій показує найвищий інтегральний індекс, оскільки поєднує теплотехнічні, екологічні та середовищні ефекти:

- зелена покрівля знижує температуру поверхні на 15-25 °С влітку;
- озеленені фасади зменшують тепловтрати взимку та перегрів влітку;
- знижується інтенсивність сонячного опромінення на 30-45 %;
- зменшуються тепловтрати через зовнішні стіни до 40 %;
- покращуються акустичні властивості фасаду та якість повітря;
- водозбереження зростає у 4-6 разів за рахунок акумулювання та фільтрації дощової води;
- створюються додаткові елементи міської екосистеми: субстрати, рослинні біоценози, зволожене повітря. Ефект теплового острова знижується до 0,2-0,3 від початкового рівня.

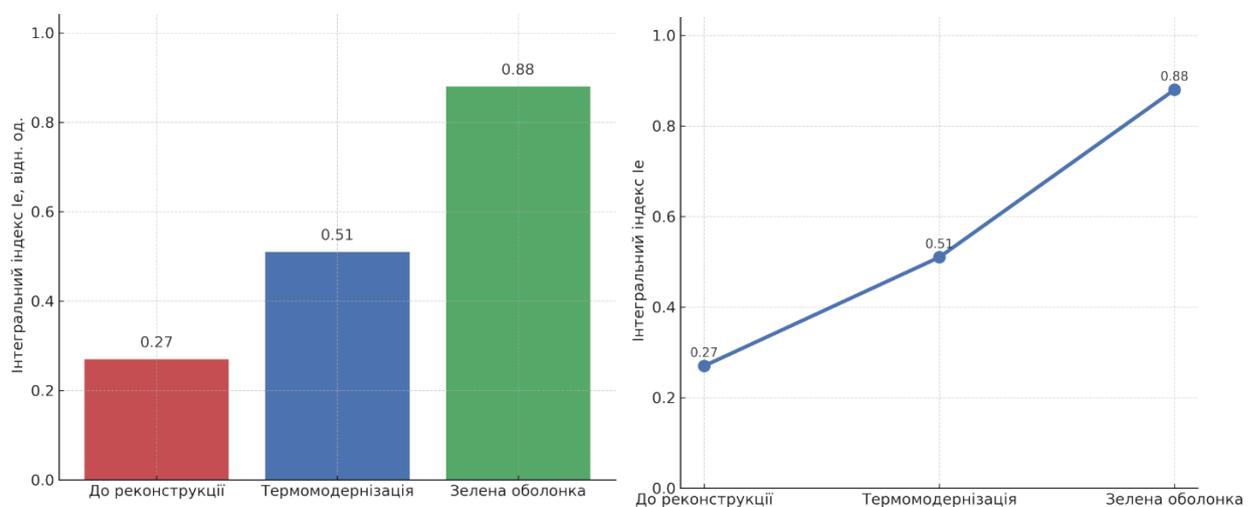


Рисунок 3.14 – Динаміка зростання екологічності

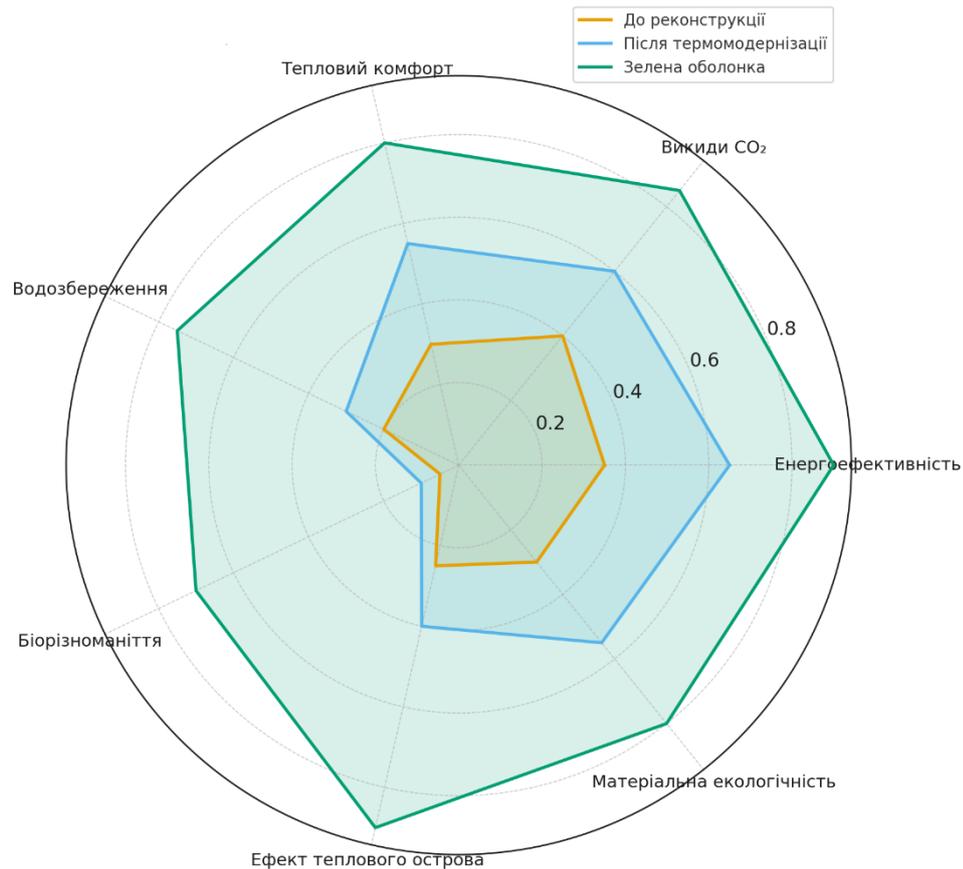


Рисунок 3.15 – Інтегральна порівняльна модель екологічності будівлі для трьох сценаріїв

Отже, сумарно зелена оболонка перетворює будівлю на екологічно ефективний об'єкт, за всіма критеріями суттєво перевершуючи звичайну термомодернізацію [46, 49, 51].

Для уточнення інтегральної екологічної оцінки виконано орієнтовний розрахунок вуглецевого сліду будівлі за результатами енергетичного балансу для трьох розглянутих сценаріїв. Вуглецевий слід визначався як сумарні річні викиди діоксиду вуглецю від споживання теплової та електричної енергії, нормовані на площу будівлі. Розрахунок проводився за залежністю:

$$M_{CO_2} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot k_i, \quad (3.1)$$

де Q_i – річне споживання відповідного виду енергоносія (теплова енергія на опалення, електроенергія на освітлення й інженерні системи), k_i – питомий коефіцієнт викидів CO_2 для даного енергоносія. Для порівняння сценаріїв застосовано однакові коефіцієнти, тому відносні значення вуглецевого сліду коректно відображають ефект реконструкції.

За результатами оцінки встановлено, що у вихідному стані (сценарій А) питомий вуглецевий слід будівлі становить близько $70 \text{ кг CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{рік})$, що відповідає інтенсивному споживанню теплової енергії та недостатній теплоізоляції огорожувальних конструкцій. Після впровадження звичайної термомодернізації (сценарій Б) питомі викиди зменшуються до $\approx 45 \text{ кг CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{рік})$ за рахунок зниження тепловтрат і часткового скорочення потреби в опаленні. Найбільший ефект досягається у варіанті із зеленою оболонкою будівлі (сценарій В), де завдяки поєднанню утеплення, зеленої покрівлі та озеленених фасадів питомий вуглецевий слід знижується орієнтовно до $30 \text{ кг CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{рік})$.

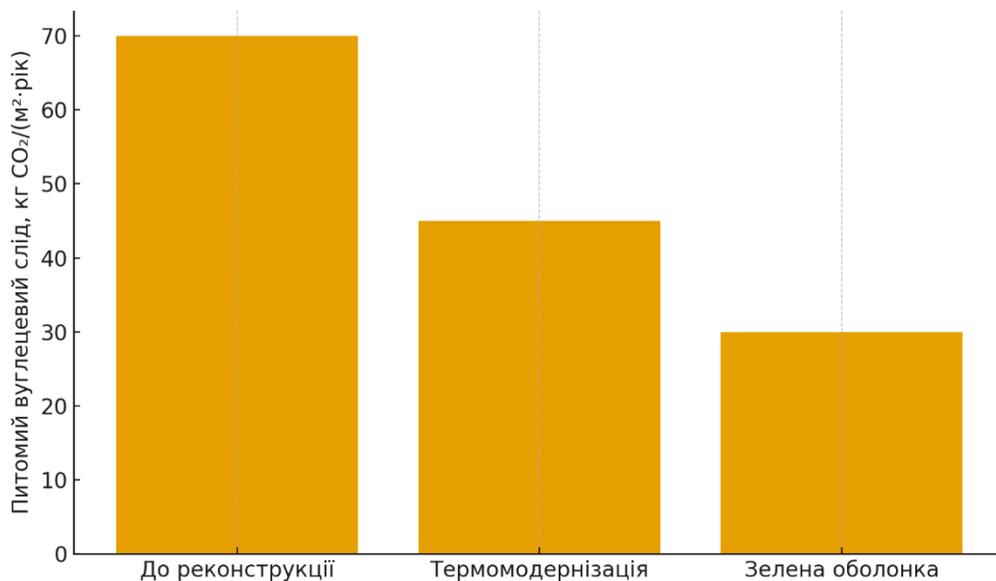


Рисунок 3.16 – Порівняння вуглецевого сліду будівлі для різних сценаріїв

У перерахунку на загальну площу будівлі це відповідає умовним річним викидам на рівні 100 % для вихідного стану, ≈ 65 % – для сценарію звичайної

термомодернізації та $\approx 40\%$ – для будівлі із зеленою оболонкою. Таке зменшення вуглецевого сліду узгоджується з підвищенням інтегрального індексу екологічності I_e .

Отримані результати підтверджують, що саме зелена оболонка забезпечує не лише покращення мікроклімату та комфортності, а й суттєве скорочення довгострокового антропогенного впливу будівлі на клімат.

Висновки до розділу 3

Комплексний аналіз натурних вимірювань і числового моделювання підтвердив ефективність запропонованих рішень реконструкції. Мікрокліматичні дослідження показали зменшення добових коливань температури, усунення локальних зон перегріву та зниження ризику конденсації у шарах огорожувальних конструкцій. Розрахунки вологісного режиму засвідчили стабільність теплотехнічної роботи огорожень після реконструкції.

Теплотехнічне моделювання в COMSOL Multiphysics виявило зниження теплових втрат покрівлі на 35-45 % завдяки зеленому шару та утепленню. Пінополіуретан продемонстрував найкращу однорідність температурного поля та найменший тепловий потік. Ізотермічні карти й векторні поля теплового потоку підтвердили зменшення локальних зон теплового навантаження.

Світлотехнічний аналіз у DIALux засвідчив підвищення середньої освітленості з 260-280 лк до 340-380 лк та покращення коефіцієнта рівномірності з 0,38 до 0,62. Після реконструкції приміщення відповідають вимогам ДБН В.2.5-28:2018. Ізолюксові карти освітленості показали рівномірніше розподілення світлового потоку.

Моделювання напружено-деформованого стану в LIRA-SAPR показало, що додаткове навантаження зеленого шару не призводить до перевищення

допустимих напружень і прогинів. Несуча здатність покрівельної плити залишається забезпеченою.

Екологічна оцінка за інтегральним індексом I_e засвідчила перевагу зеленої оболонки над звичайною термомодернізацією. Вуглецевий слід зменшився з 70 до 30 кг CO₂/(м²·рік), а тепловтрати фасадів – на ~40 %. Радар-діаграми критеріїв підтвердили комплексне покращення енергоефективності, мікроклімату та комфортності.

Узагальнюючи, реконструкція із застосуванням зеленої оболонки забезпечила покращення теплотехнічних, світлотехнічних і екологічних характеристик будівлі без погіршення її конструктивної надійності.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Рішення генерального плану

Даним проектом передбачена реконструкція начального закладу, а саме ліцею (закладу повної загальної середньої освіти) для організації навчального процесу учнів 10–12 класів. Навчальний заклад знаходиться за адресою: вулиця Чубинського Павла, 4, місто Бровари, Броварська територіальна громада, Броварський район, Київська область.

Кадастровий номер земельної ділянки: 3210600000:01:063:0946, площа якої 0,2627 га, цільове призначення якої 03.02 Для будівництва та обслуговування будівель закладів освіти. На суміжних територіях є існуюча садибна та зблокована забудова, з якою ділянка межує з півночі, сходу та заходу (рис. 4.1-4.2) [45, 52, 53].



Рисунок 4.1 – Фотофіксація прилеглої території

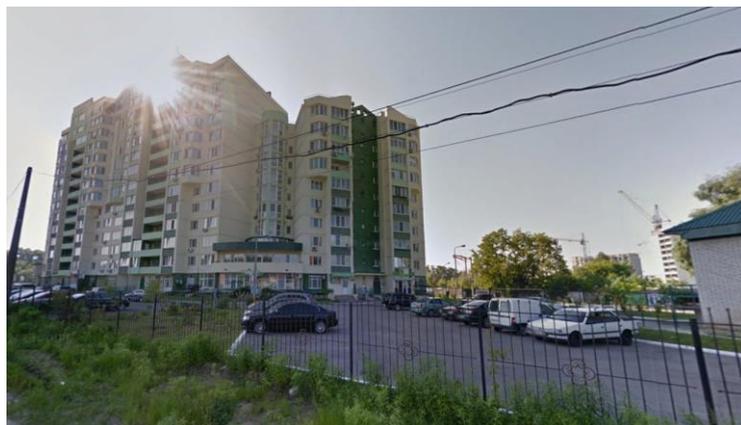


Рисунок 4.2 – Фотофіксація прилеглої території

Місцевість, де проектується будівництво, має наступні природно-кліматичні характеристики:

1) Кліматичний район – I:

- середня річна температура за рік – 8°C;
- температура найбільш холодної доби – - 29 °C;
- розрахункова температура опалювального періоду – - 21°C;
- нормативна глибина промерзання ґрунту – 0,9 м;
- тривалість опалювального сезону – 187 днів;
- сейсмічність (ДБН В. 1.2-12:2006) – до 6 балів.

2) Основний напрям вітрів:

- влітку – північний;
- взимку – південно- східний;
- нормативно вітрове навантаження – 40 кг/м²;
- нормативне снігове навантаження – 160 кг/м².

3) Категорія відповідальності конструкції – А [54].

Під'їзди та підхід до ділянки здійснюються з вулиці Чубинського Павла м. Бровари, які відносяться до категорії вулиць місцевого значення з асфальтобетонним покриттям (рис. 4.3).

Реконструкція на даній ділянці в зазначеному м. Бровари не приводить до погіршення умов функціонування кварталу, інсоляції, перевантаження об'єктів інфраструктури та інженерних мереж [52, 53]. Генеральний план на реконструкцію виконаний по всім нормативам. Будівля забезпечена пожежним під'їздом з вулиці Чубинського Павла .

Проектом прийнята суцільна система вертикального планування в узгодженості з відмітками місцевості. Відведення поверхневих вод здійснюється в понижені ділянки рельєфу.

Вертикальне планування території навколо будівлі, вхідна група, внутрішні шляхи пересування забезпечують доступність особам з інвалідністю та іншим маломобільним групам населення до будівлі.

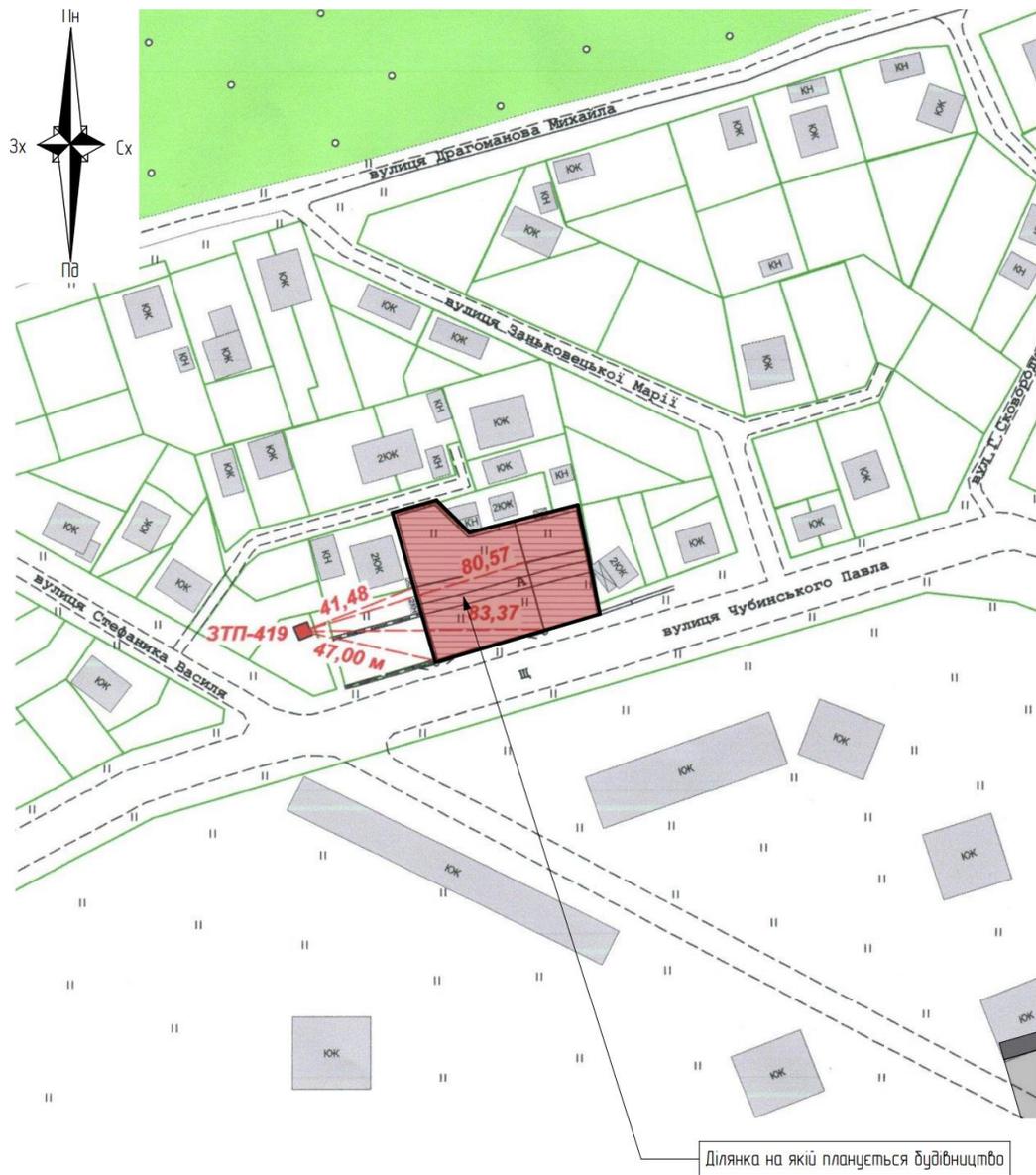


Рисунок 4.3 – Ситуаційна схема

На території навчального закладу запроєктовано спортивний майданчик з гумовим покриттям, площею 235 м². Територія навколо будівлі влаштовується твердим мощенням (тротуарна плитка) з встановленням бортових каменів. Також передбачено озеленення території, яке включає в себе газонне покриття та висадка дерев. Для благоустрою території передбачено встановлення малих архітектурних форм та обладнання: вуличні світильники, лавки та смітники. Зі сторони вулиці запроєктовано парковку для тимчасового паркування на 16 машиномісць, з яких 2 відведено для маломобільних груп населення [52, 53, 58]. Покриття автостоянки виконується

асфальтобетонним. Техніко-економічні показники по генплану наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники по генплану

№ п/п	Показники	Одиниці виміру	Значення
1	Площа земельної ділянки	га	0,2627
2	Площа забудови:	м ²	880,0
3	Коефіцієнт забудови	%	0,335
4	Площа твердого покриття (тротуарна плитка)	м ²	990,0
5	Площа гумового покриття	м ²	235,0
6	Площа озеленення	м ²	520,0

4.2 Архітектурно-будівельні рішення

Об'єкт реконструкції являє собою 3-х поверхову з підвальним поверхом будівлю – ліцей. Архітектурно-конструктивна частина проекту реконструкції спрямована на підвищення енергоефективності та технічної довговічності будівлі шляхом удосконалення покрівельної та фасадної систем.

Архітектурно-будівельні рішення розроблено відповідно до чинних норм, правил і стандартів:

- ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення;
- ДБН В.2.2-9-2018 Громадські будинки та споруди;
- ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій;
- ДБН В.2.2-3:2018 Будинки і споруди. Заклади освіти;
- ДБН В.2.6-220:2017 Конструкції будинків і споруд. Покриття будинків і споруд;
- ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва;
- ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель;
- ДСТУ-Н.Б.В.1.2-16:2013 Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва;

- ДСТУ Б А.2.4-7:2009. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень;
- ДБН В.2.6-220:2017 Конструкції будинків і споруд. Покриття будинків і споруд;
- ДБН В.1.1.7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва.

Класифікація будівлі згідно з державним класифікатором будівель і споруд ДК 018-2000 1263.5 Будівлі дошкільних та позашкільних начальних закладів.

Ліцей розрахований на учнів 10-12 класів. Розрахункова кількість працівників в навчальному закладі 80 осіб, учнів – 250-300 осіб. Згідно ДСТУ 8855:2019 Визначення класу наслідків (відповідальності) (зі зміною №1), було проведено розрахунок класу наслідку та визначено що проектована будівля відносяться до класу наслідків (відповідальності) СС2 [59]. Будівля не розташована в охоронній зоні об'єктів культурної спадщини і самі не є об'єктами культурної спадщини.

Ступінь вогнестійкості будівлі – II (друга). Термін експлуатації будівлі – 100 років. Поверховість навчального закладу – 3 поверхи з підземним поверхом, висота поверху становить 3,5 м.

Будівля запроектована в існуючих межах ділянки та має прямокутну форму на плані, габаритні розміри в осях 1-9 – 44,6 м, в осях А-К – 31,40 м. Загальна площа будівлі становить 3750 м². Загальна площа приміщень ліцею – 3596,8 м², де площа основних приміщень становить 981,6 м² [45, 52, 53].

Загальна висота від відмітки 0,000 м до парапету до реконструкції 15,1 м, після – 15,67 м.

Загальний будівельний об'єм до реконструкції – 16300 м³ (нище позначки 0,000 – 4600 м³, вище позначки 0,000 – 12800 м³); загальний будівельний об'єм після реконструкції – 15800 м³ (нище позначки 0,000 – 4600 м³, вище позначки 0,000 – 11200 м³).

Зовнішні стіни вище позначки 0,000 запроектовані з газоблоку товщиною 300 мм та утеплювача товщиною 150 мм, нище позначки 0,000 –

монолітна залізобетонна стіна товщиною 300 мм та утеплювач – 150 мм. Зовнішні стіни вище позначки 0,000 опоряджені декоративною цеглою та алюмінієвими панелями.

На першому поверсі розміщуються основні загальнодоступні приміщення: вхідна група, гардероб, адміністративні кабінети, їдальня. На другому та третьому поверхах знаходяться навчальні кабінети та допоміжні кабінети. На підвальному поверсі розміщено медичний блок, технічні приміщення, також передбачено приміщення подвійного призначення – спортивна зала, що одночасно виконує функцію укриття цивільного захисту [57]. Таке рішення відповідає вимогам ДБН В 2.2-5:2023 щодо можливості розміщення найпростіших укриттів у приміщеннях, які під час воєнного стану можуть виконувати додаткову захисну функцію. Об'єм і площа зали дозволяють забезпечити нормативні умови перебування учнів і працівників ліцею.

У планувальній структурі будівлі застосована система з горизонтальними комунікаційними елементами, де приміщення групуються навколо внутрішнього коридору. Основна геометрична форма приміщень – прямокутна, що забезпечує конструктивну простоту та ефективне використання площ. Зв'язок між поверхами здійснюється збірними залізобетонними сходами, розміщеними у сходових клітках. Сходові клітки виконано окремими протипожежними об'ємами, що гарантують безпечну евакуацію у разі пожежі та забезпечені природним освітленням [45, 46, 55, 58].

Оздоблення приміщень передбачається у вигляді обштукатурених цегляних стін та не обштукатурених з газоблоків, з інженерним устаткуванням.

Розміщення й орієнтація приміщень прийнята з урахуванням забезпечення нормативної тривалості інсоляції 2,5 год та більше в день й норм освітленості відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення», як у будинках, які будуються, так і в сусідніх житлових і суспільних будинках (рис. 4.4-4.5) [46, 52].



Рисунок 4.4 – Фотофіксація об'єкту (існуючий стан)



Рисунок 4.5 – Візуалізація будівлі з головного фасаду

Електропостачання будівлі здійснюється шляхом підключення до міських електричних мереж. На першому поверсі запроєктовано електрощитові, які забезпечують внутрішній розподіл електроенергії та живлення всіх інженерних систем будівлі [64].

Опалення будівлі – централізоване, з підключенням до існуючих теплових мереж. Система забезпечує рівномірний температурний режим на всіх поверхах, включно з цокольним та горищними рівнями [65].

Водопостачання та водовідведення підключено до міських мереж. У будівлі передбачено водомірний вузол з лічильниками, розташований на першому поверсі. Водовідведення підключене до міської каналізаційної системи з дотриманням вимог щодо санітарних ухилів та пропускної здатності мереж [61].

Вентиляційні канали вертикального типу виведені через усі поверхи та горищний простір, забезпечуючи природну витяжку із санвузлів, кухонних і допоміжних приміщень. Канали мають вихід на покрівлю та обладнані оголовками, що захищають їх від зворотної тяги та атмосферних опадів. Розташування вентиляційних каналів передбачено так, щоб гарантувати ефективний повітрообмін у будівлі та відповідність нормам мікроклімату [65].

У процесі реконструкції удосконалено конструктивну систему покрівлі та огорожувальних елементів будівлі з урахуванням експлуатаційних і кліматичних навантажень. Існуюча неексплуатована покрівля трансформована в експлуатовану з елементами озеленення. Для відповідності вимогам експлуатованих покрівель збільшено висоту парапетів, що гарантує безпеку та можливість монтажу озеленення та обслуговування інженерних систем [48, 55, 60].

Покрівельна конструкція удосконалена до рівня експлуатованої зеленої покрівлі (рис. 4.6). У структурі передбачено залізобетонну плиту покриття, пароізоляційний шар, теплоізоляцію з мінераловатних плит, похилоутворюючий шар із пінополістиролбетону, армовану стяжку, гідроізоляційну ПВХ-мембрану, дренажну мембрану з геотекстильним прошарком та конструкції регульованої підлоги [47, 48, 60]. Таке рішення забезпечує стійкість до температурних перепадів, рівномірний розподіл навантажень від озеленення та людей, а також ефективне відведення надлишкової вологи до водостічних воронок.



Рисунок 4.6 – Візуалізація організації простору на покрівлі

В даному випадку покрівля інтегрована з системою бетонних кашпо і регульованої підлоги, що створює основу для розміщення зелених насаджень. Таке рішення сприяє терморегуляції покриття, зменшенню перегріву та накопиченню дощових опадів. Кашпо слугують елементами озеленення й одночасно композиційними об'ємами, що формують структуру простору. Озеленення покрівлі складається з кущів та багаторічних трав'яних рослин, які підібрані за принципом стійкості до вітрових навантажень, тривалого сонячного випромінювання та мінімальної потреби в поливі.

Представлена конструкція бетонного кашпо (рис. 4.7) є модульною системою для висадження рослин на покрівлі з організованим відведенням надлишкової води. Кашпо виготовлене з бетону з добавкою гідрофобізатора, що забезпечує зниження водопоглинання матеріалу, тому конструкція буде більш стійкою до дії вологи, морозу, солей та перепадів температур. Внутрішня частина додатково захищена гідроізоляційною мембраною.

Мембрана запобігає проникненню вологи в тіло бетону та подальшому руйнуванню конструкції під дією циклів заморожування-розморозування.

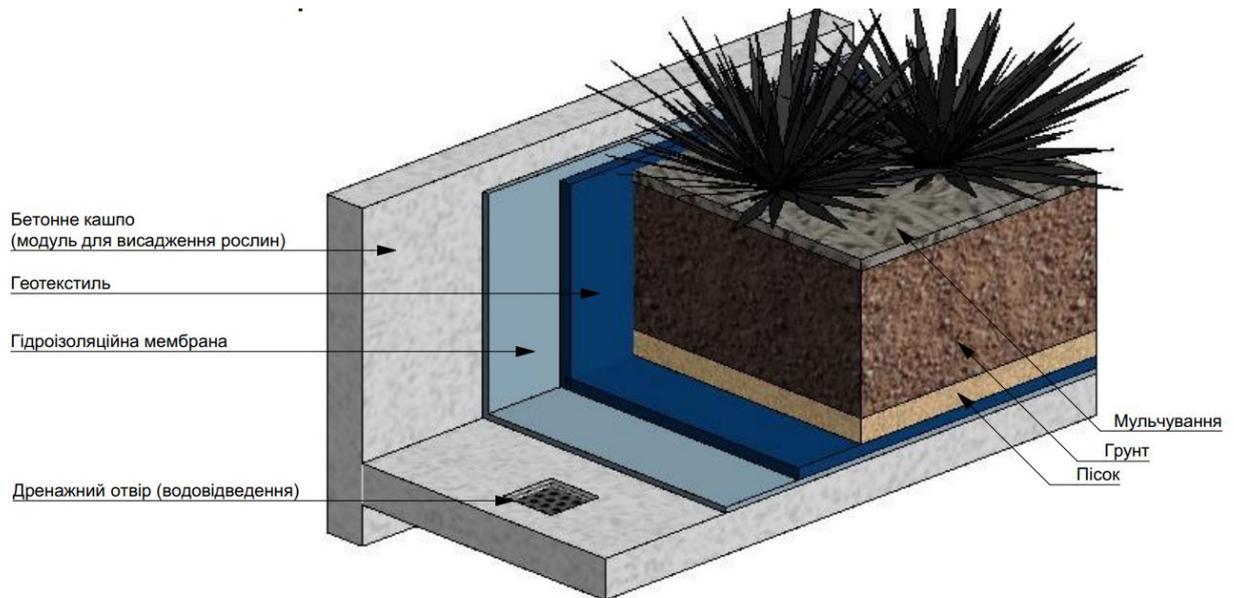


Рисунок 4.7 – Схема конструкції бетонного кашпо

У нижній частині кашпо передбачено дренажний отвір, через який відводиться надлишкова вода після поливу чи опадів. Дренаж забезпечує запобігання застою вологи в кореневій зоні, захист рослин від перезволоження та гниття, зменшення навантаження на гідроізоляцію та бетонну конструкцію. Вода, що проходить через дренажний шар, організовано спрямовується до воронки водовідведення покрівлі, тому надлишкова волога не накопичуватиметься й не створюватиме додаткових навантажень на покрівельну конструкцію [48, 61].

Під регульованою підлогою проходитимуть усі необхідні інженерні комунікації: мережі електропостачання для освітлення покрівлі, трубопроводи системного автоматичного поливу рослин, а також лінії водовідведення. Водовідведення реалізовано через воронки водовідведення, які збирають дощову воду та відводять її у внутрішню мережу каналізації будівлі. Така система забезпечуватиме безперешкодний стік атмосферних опадів і запобігатиме застою води [61].

Озеленення фасадів починатиметься зверху і розвиватиметься до низу, оскільки виткі рослини будуть висаджені у кашпо на покрівлі, тим самим буде легше доглядати за рослинами та забезпечити їм необхідний полив. Для рівномірного озеленення по стінах та для збереження цілісності фасадного опорядження, прийнято рішення щодо монтажу сітчастих легких металевих конструкцій по верху фасаду (рис. 4.8).



Рисунок 4.8 – Вузол примикання металевої сітчастої конструкції до фасаду для витких рослин

Площа покрівлі 830,5 м², де площа регульованої підлоги становить 574 м², площа озеленення на фасадах – 290 м².

Експлуатована покрівля формуватиме комфортний простір для відпочинку та навчальної діяльності. У зонуванні передбачено місця для сидіння, простори для неформальних зустрічей та позакласних заходів, забезпечуючи можливість створення додаткових освітніх і рекреаційних активностей (рис. 4.9) [60].

Даний зелений простір компенсує недостатність площі на шкільному подвір'ї і забезпечує повноцінне, психологічно сприятливе, функціональне та безпечне середовище для перебування учнів.



Рисунок 4.9 – Візуалізація будівлі з елементами озеленення покрівлі та фасадів

4.3 Технологічні рішення

4.3.1 Загальні дані

Регульована підлога на лагах – це конструктивне рішення, у якому терасне покриття встановлюється на спеціальних регульованих опорах. Такі опори дають можливість створити рівну горизонтальну площину незалежно від ухилів основи покрівлі чи перекриття [66].

Переваги терасних покриттів, встановлених на регульованих опорах, полягають у тому, що між гідроізоляцією та терасним настилом утворюється вільний простір [67]. Цей простір дозволяє прокладати необхідні комунікації – трубопроводи, електричні мережі та інші інженерні лінії – без пошкодження основи покрівлі [66]. Опори забезпечують фізичне відокремлення горизонтально поверхні тераси від гідроізоляційного шару, який має ухил для

відведення води. Це захищає гідроізоляцію від механічних навантажень, впливу впливу ультрафіолетового випромінювання та передчасного зносу [67].

Потрапляючи на терасне покриття, вода легко проходить крізь проміжки між дошками та спрямовується до гідроізоляційного шару, після чого відводиться з покрівлі через воронки водовідведення. Вільний простір під настилом забезпечує постійну циркуляцію повітря, що сприяє висиханню поверхні гідроізоляції та істотно збільшує строк її експлуатації [68].

Регульовані опори дозволяють підняти терасну площину на потрібну висоту та встановити її в ідеально горизонтальне положення, незалежно від ухилів чи складності геометрії основи [68]. Таке рішення робить конструкцію технологічною, універсальною та простою в монтажі, що дає змогу застосовувати її на покрівлях і перекриттях різної конфігурації та з ухилами в будь-яких напрямках (рис. 4.10).

Оскільки терасне покриття не контактує безпосередньо з гідроізоляційною поверхнею, воно є незалежною «плаваючою» конструкцією. Горизонтальна поверхня настилу здатна компенсувати температурні розширення та стискання, а також сприймати незначні структурні рухи будівлі без утворення деформацій чи пошкоджень [69,70].

Рішення розроблено відповідно до чинних норм, правил і стандартів:

- ДБН В.2.6-98:2009 Покриття будівель (покрівлі);
- ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція;
- ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи;
- ДБН В.2.5-64:2021 Внутрішній водопровід і каналізація.



Рисунок 4.10 – Процес влаштування тераси на лагах

4.3.2 Вказівки до виконання робіт

Перед початком монтажу поверхня покрівлі очищується від сміття, пилу та залишків будівельних матеріалів. Перевіряється рівність основи та ухили для відведення води. За потреби виконуються локальні вирівнювання або підсипання [48, 60].

Монтаж починається від стіни. Для максимально близького розміщення настилу до стіни опора підрізається з однієї сторони. Опори встановлюються на антиковзкі самоклеючі підкладки для запобігання пошкодженню гідроізоляційного шару. Відстань між опорами в одному ряду – не більше 300 мм, а між рядами – до 1500 мм [69]. Усі опори виставляються по рівню з урахуванням необхідного ухилу поверхні для водовідведення.

До встановлення лаг прокладаються всі необхідні комунікації – система автоматичного поливу, електроживлення для освітлення, дренажні трубопроводи тощо (рис. 4.11). Усі комунікації фіксуються до верхніх шарів покрівлі (гідроізоляційної або розподільчої мембрани) за допомогою спеціальних кліпс, кронштейнів або пластикових хомутів із кроком не більше

2 метрів. Важливо забезпечити, щоб усі елементи були розташовані нижче рівня регульованої підлоги та не перетиналися з місцями встановлення опор.



Рисунок 4.11 – Прокладання комунікацій під регульованою підлогою

Лаги montуються на вершину регульованих опор із використанням автоматичних регуляторів кута нахилу та антивібраційних підкладок. Відстань між торцем лаги та стіною (або іншими конструкціями) становить 10 мм для компенсації температурного розширення. Після попереднього вирівнювання конструкції по рівню затягуються фіксуючі кільця на опорах, а лаги фіксуються до них за допомогою саморізів із нержавіючої сталі [67-70].

Монтаж настилу (терасних дошок) розпочинається від стіни. Для кріплення першої дошки використовується стартовий кляймер. Між дошками встановлюються проміжні кляймери, що забезпечують рівномірний температурний зазор. Остання дошка монтується за допомогою комбінації стартового та проміжного кляймера шляхом заведення дошки між ними. Рекомендується залишати компенсаційний зазор 5–7 мм між настилем і прилеглими елементами фасаду або бортиками (рис. 4.12-4.13) [68].

Після завершення монтажу настилу виконується перевірка горизонтальності поверхні, цілісності кріплень та працездатності систем поливу й дренажу.

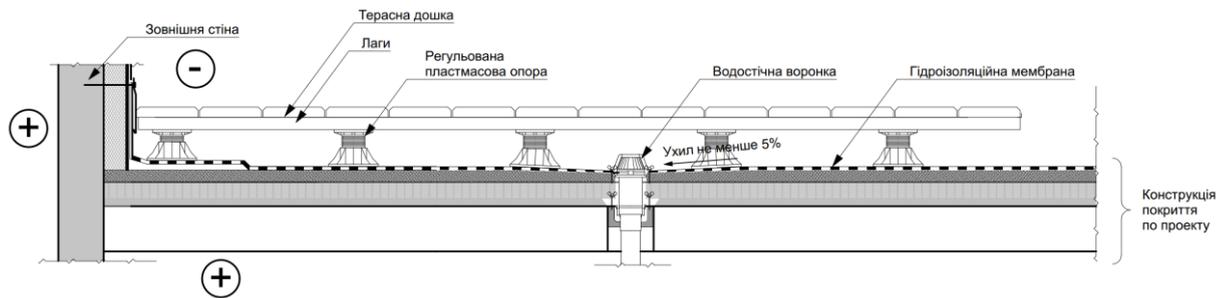


Рисунок 4.12 – Схема примикання регульованої підлоги на лагах до стіни та влаштування її на ухилах покрівлі

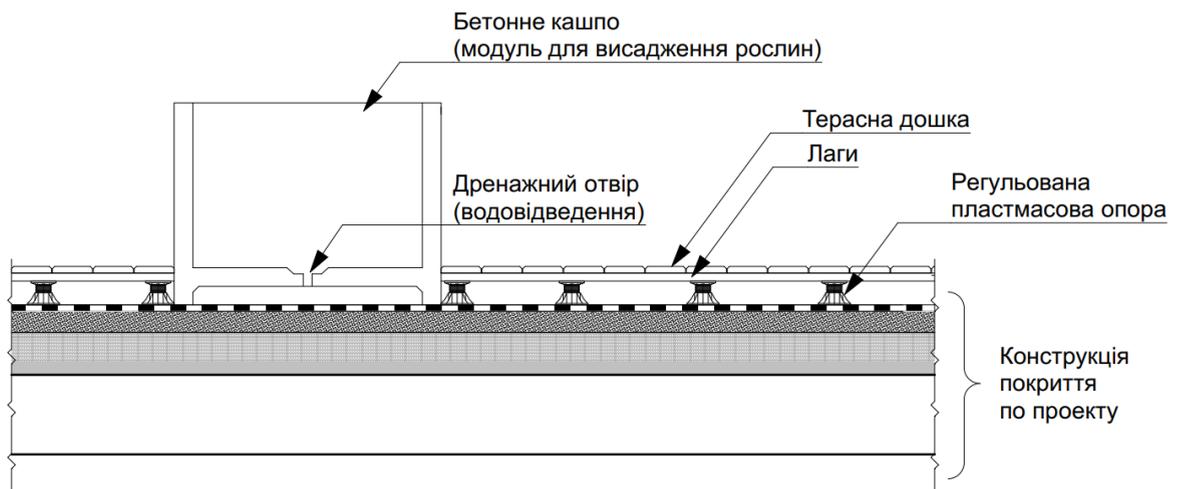


Рис. 4.13 – Схема примикання бетонного кашпо з регульованою підлогою

4.3.3 Контроль якості робіт

З метою підвищення якості будівництва необхідно забезпечити вхідний, операційний та приймальний контроль. При вхідному контролі перевіряються відповідність виробів і матеріалів стандартам, паспортам та іншим нормативним документам.

Необхідно також контролювати виконання вимог розвантаження та зберігання ізоляційних матеріалів та обладнання.

При операційному контролі треба перевіряти:

- дотримання заданої в проекті виконання робіт технології виконання будівельних процесів;
- відповідність виконаних будівельних робіт робочим кресленням.

Під час підготовчих робіт перевіряється чистота поверхні покрівлі та цілістність гідроізоляційного шару. Вимірюється ухил поверхні – він повинен забезпечувати відведення води у водостічні воронки. Всі кріплення виконуються саморізами з нержавіючої сталі або оцинкованими гвинтами [67,68, 70].

Відхилення від проектного нахилу не повинно перевищувати 0.5%. Вертикальність і висотна відмітка кожної опори перевіряється будівельним рівнем або лазерним нівеліром. Відхилення по висоті не повинні перевищувати 3 мм на 1 м довжини. Поверхня настилу має бути горизонтальною, з допустимим ухилом до 1% у напрямку водовідведення.

Приймальному контролю підлягають приховані роботи, відповідальні конструкції, а також закінчені роботи по будівництву. Складання акту прихованих робіт відбувається на етапах опор, лаг і гідроізоляції. Приймання виконаних робіт здійснюється після перевірки всіх параметрів горизонтальності, якості кріплення та функціональності інженерних систем.

4.3.4 Техніка безпеки та охорона праці

Охорона праці під час виконання робіт включає питання техніки безпеки, санітарно-гігієнічних заходів, протипожежної безпеки, а також нагляд та контроль за дотриманням вимог норм і правил з охорони праці.

Будівельна організація повинна на період виконання робіт опрацювати і затвердити заходи з техніки безпеки і виробничою санітарії та протипожежні заходи [63].

Початок виконання робіт дозволяється за наявності проекту виконання робіт.

Перед допуском до роботи зарахованих в штат організації робочих, а також при виконанні ними робіт, керівники повинні забезпечити навчання та проведення інструктажу з безпеки праці відповідно до вимог ДСТ 12.0.004-90.

Керівники будівельно-монтажних організацій зобов'язані забезпечити робітників, інженерно-технічних працівників і службовців спецодягом,

спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту, затвердженими Держкомітетом охорони праці України № 170 від 29 жовтня 1996р., а також ДСТ 12.4.011-89.

Усі робітники, зайняті на будівельних роботах повинні бути забезпечені особистим комплектом спорядження, спецодягом та касками (ГОСТ 12.4.087-80), запобіжними поясами. Експлуатувати їх необхідно відповідно до ГОСТ 12.4.089-80.

Для безпечного виконання робіт з улаштування перекриття, даху, покрівлі застосовувати страхувальні системи. Страхувальна система включає напрямний канат, що з'єднує запобіжний пояс будівельника з напрямним канатом [63].

Електроінструменти мають бути справними, із заземленням і перевіреними шнурами живлення.

Електричні кабелі для поливу та освітлення, які монтуються під регульованою підлогою, повинні бути знеструмлені під час монтажу. Перевірку автоматичної системи поливу проводити лише після завершення всіх монтажних робіт і тестування дренажу [64].

Усі працюючі на будівництві повинні бути забезпечені питною водою необхідної якості.

Складування матеріалів повинно виконуватися за діючими нормами тільки на вирівняних, спланованих або спеціально підготовлених площадках, приймаючи заходи проти самовільного зсуву, осідання, опадання і розкочування матеріалів, які складуються.

Не дозволяється при прибиранні відходів та сміття скидати їх з поверхів будинку без приміщення закритих лотків. Необхідно встановити скриньки для сміття, побутових відходів і своєчасно їх чистити у встановленому порядку.

Висновки до розділу 4

Проектом передбачено реконструкцію навчального закладу, призначеного для організації навчального процесу учнів 10-12 класів. Об'єкт розташований за адресою: вул. Чубинського Павла, 4, м. Бровари, Броварська територіальна громада, Броварський район, Київська область. Реконструкція на зазначеній ділянці не призводить до погіршення умов функціонування кварталу, інсоляції, а також не створює перевантаження інженерних мереж та міської інфраструктури.

Будівля трьохповерхова з підвальним поверхом. Архітектурно-конструктивна частина проєкту спрямована на підвищення енергоефективності та технічної довговічності будівлі шляхом удосконалення фасадної системи та конструкції покрівлі. Існуюючу неексплуатовану покрівлю трансформовано в експлуатовану з елементами озеленення.

Створений зелений простір компенсує нестачу площі на шкільному подвір'ї та формує повноцінне, психологічно сприятливе, функціональне й безпечне середовище для перебування учнів.

Регульована тераса формує функціональну пішоходну зону на покрівлі, поєднуючи озеленені ділянки з просторами відпочинку. Покриття є водонепроникним, що забезпечує вільний стік поверхневих опадів через міждощечні зазори в дренажну систему покрівлі. Застосування регульованої тераси є конструктивно та технологічно доцільним рішенням для експлуатованих покрівель [70].

«Зелені дахи» є ефективною відповіддю на екологічні виклики сучасності, оскільки не лише покращують естетику міського середовища, але й знижують енергоспоживання будівель завдяки природній теплоізоляції та регуляції мікроклімату. Впровадження таких рішень у навчальних закладах сприяє формуванню екологічно свідомої молоді, яка розумітиме принципи сталого розвитку та їх практичне застосування [69].

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Кошторисна вартість зеленого фасаду та зеленої покрівлі

Для визначення кошторисної вартості зеленого фасаду та зеленої покрівлі в даному розділі розроблена кошторисна документація у відповідності до КНУ Настанова з визначення вартості будівництва за допомогою кошторисної програми Будівельні технології.

Локальні кошториси складаються в поточному рівні цін на трудові і матеріально-технічні ресурси. В локальному кошторисі визначено кошторисну вартість робіт, яка містить в собі прямі та загальновиробничі витрати.

Прямі витрати враховують заробітну плату робітників, вартість експлуатації будівельних машин і механізмів, вартість матеріалів, виробів і конструкцій. Загальновиробничі витрати будівельно-монтажної організації входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт [71-73]. Для розрахунку загальновиробничі витрати групуються в три блоки:

- а) засоби на заробітну плату робітників;
- б) відрахування на соціальні заходи;
- в) інші статті загально - виробничих витрат.

Основою для розробки кошторису є креслення та технічні розрахунки.

Локальний кошторис на влаштування зеленої покрівлі наведений в таблиці 5.1. Вартість робіт становить 2078,997 тис. грн.

Локальний кошторис на влаштування зеленого фасаду наведений в таблиці 5.2. Вартість робіт становить 81,622 тис. грн.

Об'єктний кошторис наведений в таблиці 6.3. Загальна кошторисна вартість робіт становить 2160,619 тис. грн.

Зведений кошторисний розрахунок наведений в таблиці 5.4. Загальна кошторисна вартість робіт становить 3435,869 тис. грн.

Таблиця 5.1 – Локальний кошторис на будівельні роботи № 1

на Зелена покрівля.
(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА: Кошторисна вартість 2078.997 тис. грн.
креслення(специфікації)№ Кошторисна трудомісткість 2.81103 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 220.111 тис. грн.
Середній розряд робіт 3.1 розряд

Складений в поточних цінах станом на 1 грудня 2025 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ12-15-1	Улаштування дрібних покриттів (брандмауери, парапети, звиси і т.п.) із листової оцинкованої сталі	100 м2 покриття	0.24	49115.30	192.56	11788	2268	46	132.8000	31.87
					9450.05	51.44			12	0.5247	0.13

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

521_лк 03-001-002

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	КБ12-21-1	Грунтування основ із бетону або розчину під водоізоляційний покрівельний килим	100 м2 покрівлі	8.205	6710.96	20.71	55063	4224	170	7.0500	57.85
					514.79	6.41			53	0.0798	0.65
3	КБ12-20-3	Улаштування пароізоляції прокладної в один шар	100 м2 поверхні, що ізолюється	8.205	5713.79	116.42	46882	6821	955	10.9700	90.01
					831.31	36.08			296	0.4017	3.30
4	КБ12-18-5	Утеплення покриттів плитами	100 м2 покриття, що утеплюється	8.205	58393.74	1580.20	479121	26695	12966	47.4000	388.92
					3253.54	511.00			4193	5.5893	45.86
5	КБ12-20-3	Улаштування геотекстилю	100 м2 поверхні, що ізолюється	8.205	13567.79	116.42	111324	6821	955	10.9700	90.01
					831.31	36.08			296	0.4017	3.30
6	КБ12-20-1	Улаштування гідроізоляційної мембрани	100 м2 поверхні, що ізолюється	8.205	45086.00	147.33	369931	15770	1209	24.4900	200.94
					1921.98	45.67			375	0.4915	4.03
7	КБ1-108-5	Улаштування вручну дренажу з труб	1000м дренажу	0.135	217453.23	1792.29	29356	8451	242	868.7000	117.27
					62598.52	497.31			67	5.3770	0.73
8	КБ21-1-1	Прокладання сталевих труб із кріпленням накладними скобами, діаметр труб до 25 мм	100м труб	1.18	18291.99	1688.93	21585	5317	1993	57.4200	67.76
					4506.32	794.51			938	10.0084	11.81

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

521_лк 03-001-002

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	КБ21-4-1	Затягування у прокладені труби або металеві рукави проводу першого одножильного або багатожильного у загальному обплетенні сумарним перерізом до 2,5 мм ²	100м	1.18	6158.60	56.74	7267	630	67	7.4100	8.74
					533.96	33.93			40	0.4130	0.49
10	КБ11-12-2	Укладання лаг на регульовані опори	100 м2 підлоги	8.205	22054.17	-	180954	35703	-	61.1500	501.74
					4351.43	-			-	-	-
11	КБ11-35-1	Улаштування терасної дошки покриття	100 м2 покриття	8.205	73913.11	156.93	606457	48473	1288	83.0200	681.18
					5907.70	59.18			486	0.6369	5.23
12	КБ7-23-1	Установлення бетонних кашпо	100 шт збірних конструкцій	0.1	425068.40	65077.00	42507	6966	6508	867.1000	86.71
					69662.81	19978.78			1998	215.8838	21.59
13	КБ47-7-1	Підготовлення вручну стандартних місць для садіння дерев та кущів	10 шт	1.9	2780.57	-	5283	5283	-	42.9100	81.53
					2780.57	-			-	-	-
14	КБ47-9-1	Садіння дерев та кущів із грудкою землі розміром 0,2х0,15 м і 0,25х0,2 м	10 шт дерев або кущів	1.9	2329.26	312.24	4426	917	593	6.1500	11.69
					482.65	44.13			84	0.5330	1.01
Разом прямих витрат по кошторису							1971944	174339	26992		2416.22
									8838		98.13
Прямі витрати будівельних робіт						грн.	1943092				
вартість матеріалів, виробів і комплектів						грн.	1749768				
вартість ЕММ						грн.	24932				
в т.ч. заробітна плата в ЕММ						грн.		7860			
заробітна плата робітників						грн.		168392			
всього заробітна плата						грн.		176252			
витрати труда робітників						люд-г			2340		
витрати труда в ЕММ						люд-г			86		

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

521_лк 03-001-002

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		всього витрати труда				люд-г					2426
		Загальновиробничі витрати				грн.	103435				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					288
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		35862			
		Всього вартість будівельних робіт				грн.	2046527				
		Прямі витрати монтажних робіт				грн.	28852				
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	20845				
		вартість ЕММ				грн.	2060				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		978			
		заробітна плата робітників				грн.		5947			
		всього заробітна плата				грн.		6925			
		витрати труда робітників				люд-г					77
		витрати труда в ЕММ				люд-г					12
		всього витрати труда				люд-г					89
		Загальновиробничі витрати				грн.	3618				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					9
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		1072			
		Всього вартість монтажних робіт				грн.	32470				
		Разом прямі витрати				грн.	1971944				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	1770613				
		вартість ЕММ				грн.	26992				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		8838			
		заробітна плата робітників				грн.		174339			
		всього заробітна плата				грн.		183177			
		Загальновиробничі витрати				грн.	107053				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					296.68

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

521_лк 03-001-002

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		заробітна плата в загальнови­робничих витратах				грн.		36934			
		Всього по кошторису				грн.	2078997				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					2811.03
		Кошторисна заробітна плата				грн.		220111			

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

521_лк 03-001-001

Додаток 1
до Настанови (пункт 3.11)

Таблиця 5.2 – Локальний кошторис на будівельні роботи № 2

на Влаштування зеленого фасаду.

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:	Кошторисна вартість	81.622	тис. грн.
креслення(специфікації)№	Кошторисна трудомісткість	0.25238	тис. люд.-год
	Кошторисна заробітна плата	20.695	тис. грн.
	Середній розряд робіт	3.6	розряд

Складений в поточних цінах станом на 1 грудня 2025 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ9-75-2	Виготовлення і влаштування металевого карскасу на фасад площею 290 м2	1т конструкцій	1.04	58931.61	5566.14	61289	14365	5789	176.0000	183.04
					13812.48	371.50			386	4.1760	4.34

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

521_лк 03-001-001

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	КБ47-19-11	Підготовки вручну місць для садіння однорядної живої огорожі у природному ґрунті	10 м	2.9	462.02	-	1340	1340	-	7.1300	20.68
					462.02	-			-		-
3	КБ47-21-1	Садіння в однорядну живу огорожу кущів-саджанців із рослин, які в'ються	10 м	2.9	3194.60	-	9264	1376	-	6.3400	18.39
					474.36	-			-		-
		Разом прямих витрат по кошторису					71893	17081	5789		222.11
									386		4.34
		Разом прямі витрати				грн.	71893				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	49023				
		вартість ЕММ				грн.	5789				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		386			
		заробітна плата робітників				грн.		17081			
		всього заробітна плата				грн.		17467			
		Загальновиробничі витрати				грн.	9729				
		трудоємність в загальновиробничих витратах				люд-г					25.93
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		3228			
		Всього по кошторису				грн.	81622				
		Кошторисна трудоємність				люд-г					252.38
		Кошторисна заробітна плата				грн.		20695			

Склад

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Таблиця 5.3 – Об'єктний кошторис № 03-001

на будівництво	Зелений фасад та покрівля (найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)			
Кошторисна вартість	2160.619	тис. грн.		
Кошторисна трудомісткість	3.06341	тис. люд.-год		
Кошторисна заробітна плата	240.806	тис. грн.		
Вимірник одиничної вартості				
Складений в поточних цінах станом на 1 грудня 2025 р.				

№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудо-місткість, тис. люд.год	Кошторисна заробітна плата, тис.грн.	Показники одиничної вартості
			будівельних робіт	устаткуванн я, меблів та інвентарю	всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	03-001-001	Влаштування зеленого фасаду	81.622		81.622	0.25238	20.695	
2	03-001-002	Зелена покрівля	2078.997		2078.997	2.81103	220.111	
		Всього по кошторису	2160.619		2160.619	3.06341	240.806	

Розробив

[посада,

підпис (ініціали, прізвище)]

Консультант

[посада,

підпис (ініціали, прізвище)]

Керівник

[посада,

підпис (ініціали, прізвище)]

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

521_зкр

Додаток 7

до Настанови (пункти 3.30, 4.20, 4.38)

(назва організації, що затверджує)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зведений кошторисний розрахунок в сумі 3435.869 тис. грн.В тому числі зворотних сум 5.833 тис. грн.
(посилання на документ про затвердження)

" ___ " _____ 20__ р.

Таблиця 5.4 – ЗВЕДЕНИЙ КОШТОРИСНИЙ РОЗРАХУНОК

ВАРТОСТІ ОБ'ЄКТА БУДІВНИЦТВА № _____

Складений в поточних цінах станом на 1 грудня 2025 р.

№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування глав, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			
			будівельних робіт	устаткування, меблів та інвентарю	інших витрат	загальна вартість
1	2	3	4	5	6	7
		Глава 2. Об'єкти основного призначення				
1	02-001	Зелений фасад та покрівля	2160.619			2160.619
2	02-001-001	Влаштування зеленого фасаду	81.622			81.622
3	02-001-002	Зелена покрівля	2078.997			2078.997
		Разом за главою № 2	2160.619			2160.619
		Разом за главами № 1 - 7	2160.619			2160.619
		Глава 8. Тимчасові будівлі і споруди				
4	Розрахунок №2 (Додаток 8, Настанова п.25)	Кошти на зведення та розбирання тимчасових будівель і споруд виробничого та допоміжного призначення, передбачених даним проектом (робочим проектом)	32.409			32.409

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

521_зкр

1	2	3	4	5	6	7
		Разом за главою № 8	32.409			32.409
		в т.ч. зворотні суми				4.861
		Разом за главами № 1 - 8	2193.028			2193.028
		в т.ч. зворотні суми				4.861
		Глава 9. Інші роботи та витрати				
5	Розрахунок №4 (Додаток 8, Настанова п.27)	Кошти на виконання будівельних робіт у літній період	5.921			5.921
		Разом за главою № 9	5.921			5.921
		Разом за главами № 1 - 9	2198.949			2198.949
		Глава 10. Утримання служб замовника та інжинірингові послуги				
6	Додаток 8, Настанова п.45	Кошти на утримання служби замовника - 1 %			21.989	21.989
7	Додаток 8, Настанова п.46	Кошти на здійснення технічного нагляду - 1,5 %			32.984	32.984
		Разом за главою № 10			54.973	54.973
		Разом за главами № 1 - 10	2198.949		54.973	2253.922
		Глава 12. Проектні, вишукувальні роботи, експертиза та авторський нагляд				
8	Додаток 8, Настанова п.53	Вартість проектних робіт			167.956	167.956
9	Додаток 8, Настанова п.55	Витрати на експертизу проекту будівництва за всіма напрямками (клас наслідків (відповідальності) СС2, середні наслідки)			8.554	8.554
		Разом за главою № 12			176.510	176.510
		Разом за главами № 1 - 12	2198.949		231.483	2430.432
		в т.ч. зворотні суми				4.861
	Розрахунок №5 (Додаток 8, Настанова)	Кошторисний прибуток (П) (18,11 грн./люд.-г.)	56.856			56.856
	Розрахунок №6 (Додаток 8, Настанова)	Кошти на покриття адміністративних витрат будівельних організацій (АВ) (5,06 грн./люд.-г.)			15.886	15.886
	Настанова, Дод.28 Табл.1 п.2	Кошти на покриття ризику всіх учасників будівництва (Р)	98.953		10.417	109.370
	Розрахунок № П145 (Додаток 8, Настанова)	Кошти на покриття додаткових витрат, пов'язаних з інфляційними процесами (І)	250.680			250.680
		Разом	2605.438		257.786	2863.224
		Податок на додану вартість			572.645	572.645
		Всього по зведеному кошторисному розрахунку	2605.438		830.431	3435.869

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

521_зкр

1	2	3	4	5	6	7
		Зворотні суми	5.833			5.833

Склав

[посада,

підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

5.2 Обґрунтування ефективності проектних рішень

Для обґрунтування ефективності розглянуто соціальний та екологічний ефект, який отримується в результаті впровадження даного проекту.

Екологічна ефективність

1. Поліпшення мікроклімату та зменшення теплового навантаження

Зелені фасади й покрівлі формують природний теплоізоляційний бар'єр, що знижує нагрівання будівлі влітку та зменшує тепловтрати взимку. Рослинний шар поглинає частину сонячного випромінювання та зменшує температуру зовнішніх поверхонь на 5–15 °С, що знижує енергоспоживання на кондиціонування. Це особливо важливо для навчальних закладів, де високі внутрішні тепlopоступлення поєднуються з необхідністю підтримання комфортного температурного режиму протягом шкільного дня.

2. Поліпшення якості повітря

Рослини на фасадах і покрівлях абсорбують пил, дрібнодисперсні частинки та шкідливі гази (CO₂), покращуючи якість повітря у зоні навчання дітей. Зелений фасад зменшує концентрацію пилу на 10–20%, а в умовах міста – до 30%, що сприятливо впливає на здоров'я учнів.

3. Регулювання водного стоку

Зелена покрівля акумулює частину дощових вод, сповільнює їх відтік та знижує навантаження на зливову каналізацію. Це є актуальним для шкіл, розташованих у щільній міській забудові. До 50–70% опадів може тимчасово утримуватися субстратом.

4. Підвищення біорізноманіття

Зелені площини формують мікросередовище для комах, дрібних птахів і місцевих рослин. Навчальний заклад отримує можливість створити «мікробіостанцію» – ефективний елемент екологічного виховання дітей.

Соціальна ефективність

1. Формування комфортного та здорового освітнього середовища

Озеленені фасади знижують рівень шуму на 7–13 дБ, що покращує умови у класах, особливо якщо школа розташована поблизу дороги. Зелені покрівлі можуть використовуватися як релаксаційні або навчальні зони – для уроків біології, природознавства, екології.

2. Психологічний та когнітивний ефект

Наявність природних елементів у навчальному середовищі позитивно впливає на емоційний стан учнів та їх працездатність. Доведено, що контакт із зеленими насадженнями: знижує стрес, підвищує концентрацію, покращує здатність до запам'ятовування.

Для учнів початкових класів це особливо важливо, оскільки візуальне та сенсорне сприйняття природних форм сприяє кращому розвитку уваги.

3. Формування екологічної свідомості.

Зелений фасад і зелена покрівля можуть використовуватися як наочний навчальний об'єкт. Учні можуть вивчати: цикли росту рослин, особливості догляду, принципи раціонального природокористування, екологічні аспекти архітектури.

Такі об'єкти підвищують мотивацію вивчення природничих дисциплін і сприяють формуванню відповідального ставлення до довкілля.

4. Збільшення привабливості та іміджу навчального закладу.

Наявність інноваційних екологічних рішень підвищує статус школи як сучасного, безпечного та прогресивного освітнього простору. Це формує позитивне ставлення громади й може бути конкурентною перевагою у наборі учнів.

Висновки до розділу 5

Визначена кошторисна вартість робіт в результаті складання кошторисної документації: локальних кошторисів, об'єктного кошторису, зведеного кошторисного розрахунку. Загальна кошторисна вартість об'єкта – 3435,869 тис. грн. Використання зеленого фасаду та зеленої покрівлі у

навчальному закладі є комплексним рішенням, що забезпечує отримання екологічної та соціальної ефективності. Озеленення зменшує навантаження на будівлю, покращує якість мікроклімату та повітря, сприяє збереженню енергії, підвищує біорізноманіття. У соціальному аспекті такі рішення створюють комфортне, здорове, естетичне та педагогічно цінне середовище, яке сприяє розвитку дітей і зміцнює імідж закладу як сучасного та екологічно відповідального.

Результати розрахунків свідчать про доцільність реалізації реконструкції з використанням зеленої оболонки. Заходи з підвищення енергоефективності забезпечують повернення інвестицій у середньому протягом 6–9 років, при цьому очікуване скорочення річного споживання енергоресурсів становить 28–45 %. Одночасно з економічним ефектом досягається покращення екологічних характеристик та експлуатаційних показників будівлі.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що зелені покрівлі та вертикальні озеленені фасади забезпечують багатофункціональний ефект: зменшення тепловтрат, підвищення комфортності мікроклімату, затримання опадів, покращення шумозахисту та зниження перегрівання зовнішніх поверхонь. Це підтверджує доцільність використання природоорієнтованих технологій у реконструкції навчальних закладів.

2. Натурні вимірювання продемонстрували надлишкові добові коливання температури, недостатній рівень освітленості та локальні зони перегріву будівлі до реконструкції. Після впровадження проєктних рішень амплітуда температурних коливань зменшилась на 20-30 %, середня освітленість зросла до нормативних значень, а шумове навантаження знизилось на 8-10 дБ.

3. Числове моделювання показало зменшення теплового потоку покрівлі в середньому на 40-60 %. Пінополіуретан забезпечив найнижчу інтенсивність теплопередачі та найоднорідніше температурне поле. У випадку створення зеленої покрівлі усунуено ризики внутрішньої конденсації та локальних зон перегрівання. Це доводить, що реконструкція покращила теплотехнічну якість огорожень.

Світлотехнічне моделювання підтвердило підвищення середньої освітленості з 260-280 лк до 340-380 лк та вирівнювання розподілу світлового потоку. Коефіцієнт рівномірності зріс з 0,38 до 0,62, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018. Це демонструє, що реконструкція огорожень і модернізація освітлення покращили умови зорової роботи у приміщеннях.

Моделювання напружено-деформованого стану покрівельної конструкції показало, що додаткове навантаження від субстрату зеленої покрівлі не призводить до перевищення граничних прогинів і напружень. Максимальні напруження становлять 14 МПа при допустимих 17 МПа, а

прогини – 6,2 мм при допустимих 8 мм. Конструкція зберігає несучу здатність із запасом міцності.

4. Побудований інтегральний індекс I_e продемонстрував, що традиційна термомодернізація лише частково покращує енергоефективність. Зелена оболонка будівлі дозволяє додатково досягнути скорочення викидів CO_2 на 55-60 %, зменшення тепловтрат на 40-60 %, покращення освітленості та акустичного комфорту.

5. Запропоновані архітектурно-планувальні та інженерні рішення (зелені покрівлі, озеленені фасади, модернізовані огорожувальні конструкції, теплоефективні вікна, вентиляційні та водовідвідні системи) забезпечують комплексне покращення енергоефективності, довговічності та мікроклімату будівлі існуючої школи при реконструкції.

6. Виконані розрахунки довели економічну доцільність реконструкції зі зеленою оболонкою: термін окупності заходів складає 6-9 років залежно від обсягів енергоощадності, а річна економія енергоресурсів становить 28-45 %. Зниження експлуатаційних витрат супроводжується покращенням екологічних характеристик будівлі.

Отже, реконструкція будівлі навчального закладу із застосуванням зеленої покрівлі та озеленених фасадів є технічно обґрунтованою, конструктивно безпечною, енергоефективною та екологічно доцільною. Зелена оболонка забезпечує кращий результат, ніж традиційна термомодернізація, та значною мірою підвищує комфортність і стійкість експлуатації будівлі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Слюсар І. О., Коваль А. І., Бондар А. В. Конструктивні особливості влаштування зелених дахів та фасадів. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Інноваційні технології в будівництві-2024», Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 20.11.2024 – 22.11.2024 р. URL:<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/viewFile/22594/18689>
2. Слюсар І. О., Бондар А. В. Зелені покрівлі та фасади як засіб підвищення екологічності та енергоефективності будівель навчальних закладів. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2025», Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 19.11.2025 – 21.11.2025 р. URL:<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26310/21693>
3. Криштофор І. Використання зелених фасадів та зелених дахів в структурі міста. *Transfer of innovative technologies: international scientific journal*. Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture. 2020. Vol. 3 (1). P. 35-38. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/9709> (дата звернення 12.09.2025).
4. Чорноног А. Ю., Масленнікова В. В. Зелена архітектура: принципи, переваги та недоліки озеленення будівель. Молодь і технічний прогрес в АПВ: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 26-27 листопада 2024 р.; Держ. біотехнологічний ун-т. Харків, 2024. С. 573-576.
5. Затолокіна А. М. Розробка та впровадження зеленої інфраструктури для зниження впливу міського теплового острова: кваліфікаційна робота бакалавра: спец. 101 – Екологія; наук. кер. Ю. Ю. Чуприна. Харків: ДБТУ, 2025. 51 с.
6. Зелені дахи: технології, переваги та інновації для сталого будівництва. URL: vash-master.com.ua (дата звернення 22.09.2025)

7. Green Buildings. URL: <https://www.pnnl.gov/explainer-articles/green-buildings> (дата звернення 22.09.2025 р.).
8. Концепції зеленого будівництва: як зелені дахи та стіни формують сталє майбутнє. URL: allfixpro.de. (дата звернення 23.09.2025р.)
9. Gagliano A., Detommaso M., Nocera F., Patania F., Aneli S. The Retrofit of Existing Buildings Through the Exploitation of the Green Roofs – A Simulation Study. *Energy Procedia*. 2014. Vol. 62. P. 52–61. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.366. (дата звернення 23.09.2025р.).
10. Learning and School Reforms Continue in Ukraine Despite War Challenges. URL: <https://www.worldbank.org> (дата звернення 24.09.2025р.)
11. Звіт з енергетичного аудиту Загальноосвітня школа I-III ступенів № 4 Шевченківського району вул. Волзька, 27. URL: <https://mer.ecosys.com.ua> (дата звернення 24.09.2025р.).
12. КОМУНАЛЬНИЙ ЗАКЛАД "ВІННИЦЬКИЙ ЛІЦЕЙ №9". URL: <https://v19.edu.vn.ua> (дата звернення 27.09.2025р.).
13. Романо-германська гімназія № 123. URL: <https://lyzeum123.kyiv.ua/node/7> (дата звернення 27.09.2025р.).
14. Ліцей «Діалог» Дарницького району м. Києва. URL: <http://dialog.org.ua> (дата звернення 27.09.2025р.).
15. У Києві запроваджують вертикальне озеленення: як це працюватиме. URL: <https://rubryka.com/2022/07/13/vertical-garden-kyiv/> (дата звернення 26.09.2025р.).
16. Albert Schweitzer Schule. URL: <https://nophadrain.com> (дата звернення 27.09.2025р.).
17. Løren School Leads the Way in Green Roof Solar Innovation. URL: <https://worldgreeninfrastructurenetwork.org/loren-school-leads-the-way-in-green-roof-solar-innovation> (дата звернення 27.09.2025р.).
18. Schule Unterensingen. URL: <https://www.greenroofs.com> (дата звернення 27.09.2025р.).

19. Green roof on a school building (26th High School). URL: <https://lifeasti.eu/> (дата звернення 27.09.2025р.).
20. GREEN FACADE AERES HOGESCHOOL ALMERE. URL: https://cloudgarden.nl/en/projects/aeres-hogeschool_almere (дата звернення 27.09.2025р.).
21. Aeres Hogeschool Almere. URL: <https://ginkelgroep.nl/project/aeres-hogeschool-almere> (дата звернення 27.09.2025р.).
22. Aeres Hogeschool Almere. URL: <https://www.hevo.nl/projecten/aeres-hogeschool-almere> (дата звернення 27.09.2025р.).
23. Chu Hai College of Higher Education / Rocco Design Architects Limited. URL: <https://www.archdaily.com/520797/rocco-designs-new-campus-for-chu-hai-college-of-higher-education> (дата звернення 27.09.2025р.).
24. Campus Facts-香港珠海學院 | Hong Kong Chu Hai College. URL: <https://www.chuhai.edu.hk> (дата звернення 27.09.2025р.).
25. Gardens in the Sky. URL: <https://skyrisegreenery.nparks.gov.sg> (дата звернення 27.09.2025р.).
26. Institute of Technical Education HQ & College Central, Singapore. URL: <https://www.greenroofs.com> (дата звернення 29.09.2025р.).
27. ITE Headquarters & Central College | Grant Associates. URL: <https://grant-associates.uk.com> (дата звернення 29.09.2025р.).
28. Eco Wrappers: The Nanyang Technological University's School of Art, Design, and Media. URL: <https://arcfly.tumblr.com> (дата звернення 29.09.2025р.).
29. A swirling green roof tops the gorgeous Nanyang Technical University in Singapore. URL: <https://inhabitat.com> (дата звернення 29.09.2025р.).
30. Мандрика А. С. Енергоефективні технології : навчальний посібник. Сумський державний університет, 2021. 330 с. (дата звернення 30.09.2025р.).
31. Зелена покрівля: екстенсивне та інтенсивне озеленення. URL: <https://www.greengarth.com.ua/blog/landshaftnyj-dyzajn/zelena-pokrivlya-ekstensyvne-ta-intensyvneozelenennya/> (дата звернення 30.09.2025р.).

32. Системи зеленої покрівлі. URL: <https://gidex.com.ua/budivnytstvo-zelenykh-dakhiv/> (дата звернення 30.09.2025р.).

33. Гавдера С., Андріїв Х. Зелена покрівля. Мат-ли VII Міжнародної студентської наук.-техн. конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2024. С. 240-241. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/44907/2/VII_MCNTK_2024_Havdera_S-Green_roof_240-241.pdf (дата звернення 01.10.2025р.).

34. Pérez-Urrestarazu L., Fernández-Cañero. R., Franco-Salas. A. Vertical Greening Systems and Sustainable Cities. *Journal of Urban Technology*. 2016. P. 65–85. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10630732.2015.1073900> (дата звернення 01.10.2025р.).

35. Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Arcuri, N. Thermal inertia assessment of vegetated roofs for building energy performance improvement. *Energies*. 2023. Vol. 18(12), 3215. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18123215> (дата звернення 02.10.2025р.).

36. Gagliano A., Detommaso M., Nocera F., Patania F., Aneli S. The Retrofit of Existing Buildings Through the Exploitation of the Green Roofs – A Simulation Study. *Energy Procedia*. 2014. Vol. 62. P. 52–61. DOI: [10.1016/j.egypro.2014.12.366](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.366) (дата звернення 02.10.2025р.).

37. Vijayaraghavan, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 57. P. 740–752. (дата звернення 02.10.2025р.).

38. Організація та експлуатація зеленої покрівлі. URL: https://vipmdh.com.ua/uk/blog/tekhnologiyibudivnictva/organizaciya-ta-ekspluataciya-zelenoyipokrivli?srsltid=AfmBOoo7PK8ph_4pwjd92IX73f_LL9qR9oKePHgJB5TzQDRyJ9ftdXDR (дата звернення 02.10.2025р.)

39. Savi, F., Masullo, M., Chieffo, N., Pisello, A. L. Life cycle assessment of green roofs for sustainable urban buildings: comparative approach. *Journal of*

Building Engineering. 2022. Vol. 46. Article 103761. (дата звернення 03.10.2025р.).

40. Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E. A review of energy aspects of green roofs. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 23. P. 155–168. (дата звернення 05.10.2025р.).

41. Wong, N. H., Cheong, D. K. W., Yan, H. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. Energy and Buildings. 2003. Vol. 35(4). P. 353–364. (дата звернення 05.10.2025р.).

42. Шарлай О. В. Вертикальне озеленення фасадів як засіб гуманізації міського архітектурного середовища. Український мистецтвознавчий дискурс, вип. 1, Березень 2025, С. 218-224. doi:10.32782/uad.2025.1.24. (дата звернення 05.10.2025р.).

43. Will Ing. Is the boom in green roofs and living walls good for sustainability? The Architects' Journal. 2021. URL: <https://www.architectsjournal.co.uk/news/is-the-boom-in-green-roofs-and-living-walls-good-for-sustainability> (дата звернення 05.10.2025р.).

44. A Review of Polyurethane Foams for Multi-Functional and High-Performance Applications. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/22/3182> (дата звернення 06.10.2025р.).

45. ДБН В.2.2-3:2018 Будинки і споруди. Заклади освіти. [Чинний від 2018-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 56 с.

46. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.

47. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі зміною № 1 та № 2. [Чинний від 2007-10-01]. Вид. офіц. Київ: Мінбуд України, 2020. 68 с.

48. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд. [Чинний від 2018-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 53 с.

49. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування. [Чинний від 2018-12-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 20 с.

50. ДСТУ Б В.2.6-36:2008. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови. [Чинний від 2009-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 35 с.

51. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2021-09-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. 23 с.

52. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 179 с.

53. ДБН Б.2.2-5:2011. Благоустрій територій. [Чинний від 2012-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2012. 61 с.

54. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01 р.], Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України 2011. 123 с.

55. ДБН В.2.2-9:2018 Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. Зі Зміною № 1. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ: УКРНДПЦИВІЛЬБУД, 2019. 43с.

56. ДСТУ Б А.2.4-7:2009. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2009. 57 с.

57. ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту. [Чинний від 2013-11-01 р]. Вид. офіц. Київ: Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023. 112 с.

58. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Зі Зміною № 1. [Чинний від 2022-09-01 р]. Вид. офіц. Київ: Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2022 р. 17 с.

59. ДСТУ 8855:2019 Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності). [Чинний від 2019-12-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2009. 13 с.

60. ДСТУ-Н Б В.2.6-214:2016 Настанова з улаштування та експлуатації дахів будинків, будівель і споруд. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 45 с.

61. ДБН В.2.5-64-12. Внутрішній водопровід та каналізація. [Чинний від 2013-03-01 р], Київ: Мінрегіонбуд України, 2013. 122 с.

62. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-01-06]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2017. 35 с.

63. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2012-04-01]. Вид. офіц. Київ : Міненергобуд України, 2012. 116 с. – (Система стандартів безпеки праці).

64. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

65. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. К. : Інститут «УкрНДІспецбуд», 2013 . 135 с.

66. Що таке регульовані опори? Як та де вони застосовуються? URL: <https://sanpol.ua/ua/gallery/video-kategorii/sho-take-regulovani-opori-yak-ta-devoni-zastosovuutsya/> (дата звернення 06.10.2025р.).

67. Plots-terrasse.com la référence française des plots de terrasse. Calculateur plots de terrasse. URL: <https://www.plots-terrasse.com> (дата звернення 06.10.2025р.).

68. Встановлення лаг на регульовані опори. URL: <https://woodplast.com> (дата звернення 06.10.2025р.).

69. FLL — Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs (FLL). URL: <https://commons.bcit.ca/greenroof> (дата звернення 06.10.2025р.).

70. Lat roof drainage — технічні настанови. URL: <https://www.buildingregs4plans.co.uk> (дата звернення 06.10.2025р.).

71. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи (Збірник 15). [Чинний від 2023-02-22]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. 205 с.

72. ДСТУ Б Д 1.1.1-2013. Правила визначення вартості будівництва. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 97 с.

73. Лялюк О. Г. Техніко-економічне обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах будівельних спеціальностей : навчальний посібник / О. Г. Лялюк, І. В. Маєвська. Вінниця : ВДТУ, 2003. 84 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ БМГА, ФБЦЕІ, гр. 1Б-24м

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 4,34 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

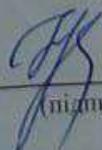
Бікс Ю.С., доцент кафедри БМГА

(прізвище, ініціали, посада)

Швец В.В., завідувач кафедри БМГА

(прізвище, ініціали, посада)

Особа, відповідальна за перевірку

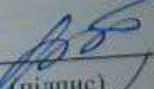

(підпис)

Блащук Н.В.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

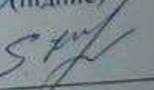
Керівник


(підпис)

Бондар А.В., доцент кафедри БМГА

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач


(підпис)

Слюсар І.О.

(прізвище, ініціали)

Додаток Б

Відомість графічної частини МКР

Аркуш	Найменування	Примітки
1	Атуальність теми. Мета роботи.Завдання дослідження. Об'єкт дослідження. Предмет дослідження. Методи дослідження. Новизна роботи	
2	Стан навчальних закладів в Україні. Підвищення екологічності навчальних закладів за кордоном	
3	Оцінка екологічного потенціалу реконструкції навчальних закладів на основі аналітичних показників	
4	Дослідження екологічності будівлі навчального закладу	
5	Дослідження екологічності будівлі навчального закладу (продовження)	
6	Аналіз результатів дослідження та оцінка екологічного ефекту реконструкції	
7	Аналіз результатів дослідження та оцінка екологічного ефекту реконструкції (продовження)	
8	Кошторисна вартість зеленого фасаду та зеленої покрівлі	
9	Ситуаційна схема М1:2000; Генеральний план М1:500; Опорна схема М1:2000; Фотофіксація	
10	Фасади будівлі до реконструкції М1:100	
11	Фасади будівлі після реконструкції М1:100	
12	План підвального поверху на від. -4,500 М1:100; План першого поверху на від. ±0,000 М1:100	
13	План другого поверху на від. +4,200 та третього поверху на від. +8,050 М1:100; План горіщного поверху на від. +12,250 М1:100; План покрівлі М1:100	
14	Розріз 1-1 до та після реконструкції М1:100; Вузол 1 та Вузол 2 М1:20	
15	Схема озеленення покрівлі М1:100; Вузол 3 М1:20; Вузол 4 М1:20	
16	Технологічна карта влаштування регульованої підлоги на лагах	
17	Візуалізації проекту	

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ:

Сучасні тенденції розвитку будівництва передбачають переорієнтацію проєктних підходів у бік екологізації, підвищення енергоефективності та забезпечення комфортного мікроклімату в будівлях. Навчальні заклади, як об'єкти з інтенсивним і тривалим перебуванням людей, потребують особливої уваги до енергетичних характеристик, санітарно-гігієнічних показників та екологічної стійкості їх експлуатації. Значна частина шкільних будівель України була зведена за застарілими нормами теплового захисту, не відповідає сучасним вимогам щодо енергоощадності та не забезпечує оптимальних умов перебування учасників освітнього процесу.

МЕТА РОБОТИ:

Є підвищення екологічності та енергоефективності будівель навчальних закладів шляхом обґрунтування та впровадження зеленої покрівлі, озелененого фасаду та вдосконалених огорожувальних конструкцій.

ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ:

- проаналізувати сучасні наукові та нормативні підходи до вибору екологічних рішень для реконструкції будівель;
- виконати натурні вимірювання параметрів мікроклімату, шумового фону та освітленості;
- провести числове моделювання теплотехнічних, світлотехнічних та конструктивних характеристик будівлі із застосуванням програмних комплексів;
- оцінити вплив зеленої покрівлі та озелененого фасаду на тепловий режим зовнішнього огороження;
- розробити інтегральний індекс екологічності будівлі та провести порівняння трьох сценаріїв: до реконструкції, після традиційної термомодернізації та при застосуванні зеленої оболонки;
- сформулювати комплекс проєктних рішень для реконструкції навчального закладу із застосуванням природоорієнтованих технологій та оцінити техніко-економічну ефективність реконструкції.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ:

Будівля навчального закладу в умовах реконструкції.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ:

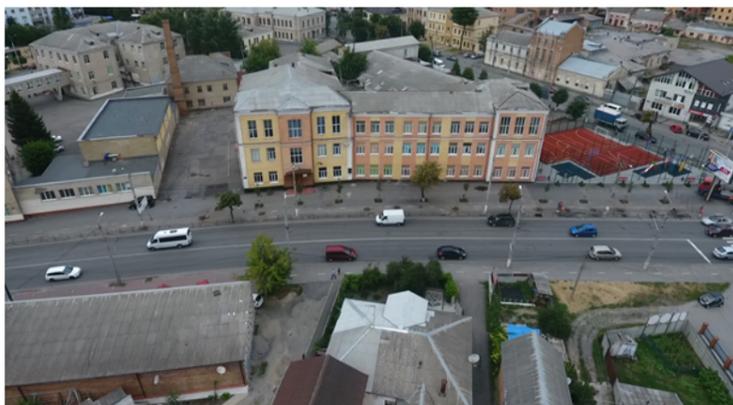
Екологічні, теплотехнічні, світлотехнічні та конструктивні показники будівлі при застосуванні зеленої оболонки.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ:

Включають інструментальні вимірювання мікрокліматичних параметрів, комп'ютерне моделювання у програмних комплексах COMSOL Multiphysics, DIALux і LIRA-SAPR, порівняльний аналіз технічних рішень, еколого-енергетичне оцінювання та математичне моделювання інтегрального індексу екологічності.

НОВИЗНА РОБОТИ:

Полягає в комплексному підході до оцінки екологічності будівлі навчального закладу, який одночасно враховує теплові, світлотехнічні, конструктивні та екологічні характеристики. Сформовано інтегральний індекс екологічності для порівняння різних сценаріїв реконструкції та обґрунтовано доцільність використання зеленої оболонки як елемента підвищення енергоефективності та комфортності навчальних будівель.



ЛІЦЕЙ №9 У М.ВІННИЦІ



**РОМАНО-ГЕРМАНСЬКА ГІМНАЗІЯ № 123
В ІСТОРИЧНІЙ МІСЦЕВОСТІ М. КИЄВА,
В ПОДІЛЬСЬКОМУ РАЙОНІ**



**ЛІЦЕЙ «ДІАЛОГ» ДАРНИЦЬКОГО
РАЙОНУ М. КИЄВА**

Екологічність будівель, або «зелене будівництво» - це підхід до проєктування, будівництва та експлуатації будівель, який мінімізує їхній негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людей, основною метою якого є створення гармонійного та стійкого архітектурно-ландшафтного середовища.

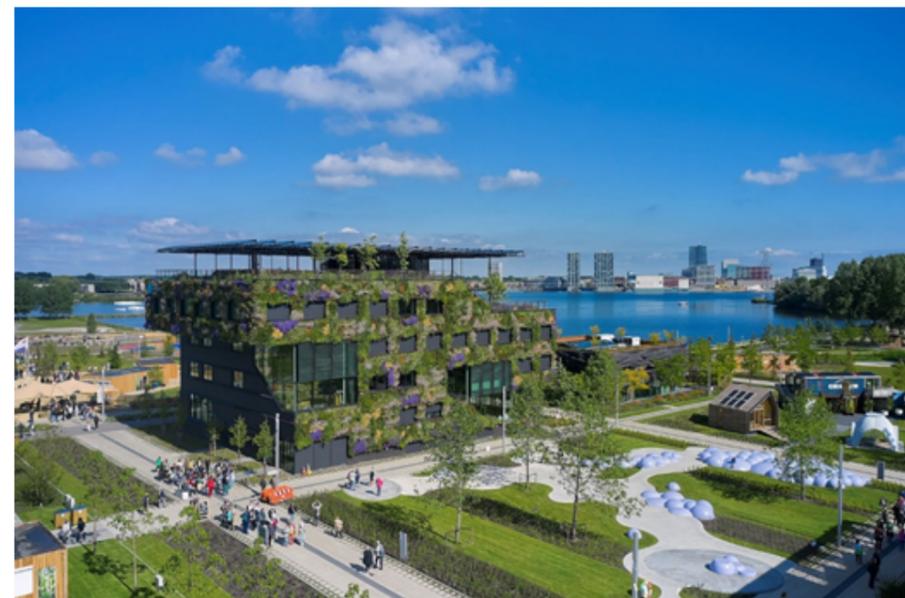
Стан сучасних шкіл в Україні характеризується значною потребою у модернізації, оскільки більшість будівель були зведені ще у другій половині ХХ століття та не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, мікроклімату й екологічності.

Сучасні методи реконструкції навчальних закладів спрямовані на комплексне перетворення застарілих будівель у енергоефективні, безпечні та екологічно орієнтовані освітні простори.

**ВЕРТИКАЛЬНЕ
ОЗЕЛЕНЕННЯ ФАСАДУ
БУДИНКУ В М. КИЄВІ**



Активне впровадження «зеленої» інфраструктури зумовлене високим ступенем урбанізації, обмеженими земельними ресурсами, а також прогресивною державною політикою та будівельними нормами, спрямованими на боротьбу зі зміною клімату та покращення якості життя мешканців. Такі концепції озеленення найбільше використовуються в країнах Західної Європи (Німеччина, Франція, Нідерланди), а особливо в країнах Південно-Східної Азії (Південна Корея, Сінгапур, Китай). Екологічні будівлі не розглядаються як екзотична інновація, а є частиною будівельної культури та обов'язковим елементом елементом сталого будівництва.



**AERES HOGESCHOOL ALMERE (НІДЕРЛАНДИ) —
УНІВЕРСИТЕТСЬКИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ЗЕЛЕННЮ НА ФАСАДІ**

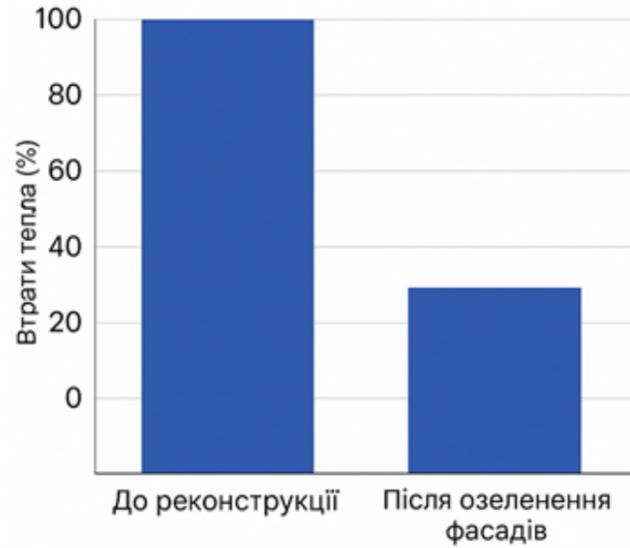


**CHU HAI COLLEGE OF HIGHER EDUCATION,
ГОНКОНГ, КИТАЙ**

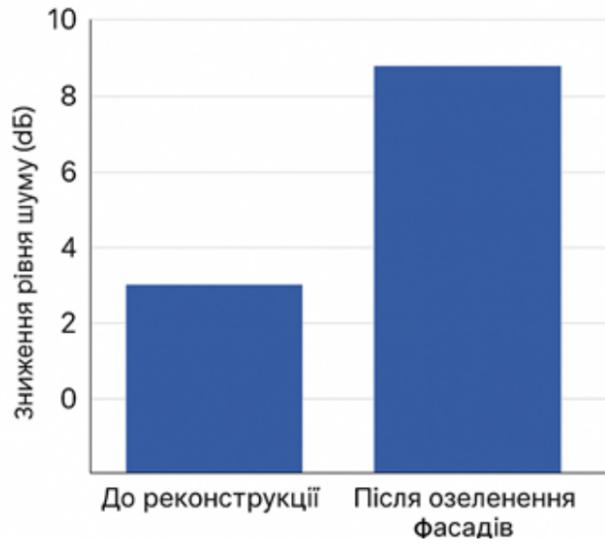


**ШКОЛА МИСТЕЦТВ, ДИЗАЙНУ ТА МЕДІА
(SCHOOL OF ART, DESIGN AND MEDIA)
ПРИ НАНЬЯНСЬКОМУ ТЕХНОЛОГІЧНОМУ
УНІВЕРСИТЕТІ (NTU), СИНГАПУР**

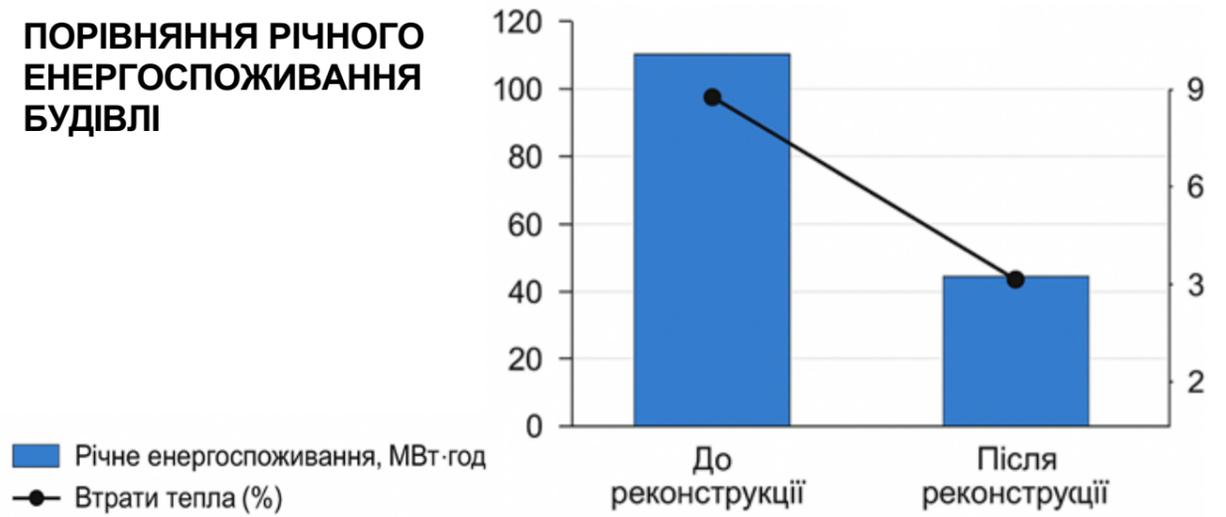
ТЕПЛОВІ ВТРАТИ ЧЕРЕЗ ФАСАД БУДІВЛІ



ШУМОЗАХИСНИЙ ЕФЕКТ ЗЕЛЕНИХ ФАСАДІВ



ПОРІВНЯННЯ РІЧНОГО ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛІ



КЛАСИФІКАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ

Напрямок екологізації	Характеристика	Очікуваний ефект
Енергоефективність огорожувальних конструкцій	Теплоізоляція стін, покрівель, заміна вікон, усунення теплових містків	Зниження тепловтрат на 30-50 %
Природні елементи у конструкції	Зелені дахи, зелені фасади, інфільтраційні поверхні	Покращення мікроклімату, зниження температури поверхонь
Покращення якості повітря	Системи фільтрації, природна вентиляція, озеленення	Зменшення CO ₂ та пилу, підвищення комфорту
Водоощадні технології	Збір дощової води, пермеабельні покриття	Скорочення водоспоживання
Акустичний комфорт	Рослинний екран, озеленені фасади	Зменшення шуму на 6-12 дБ

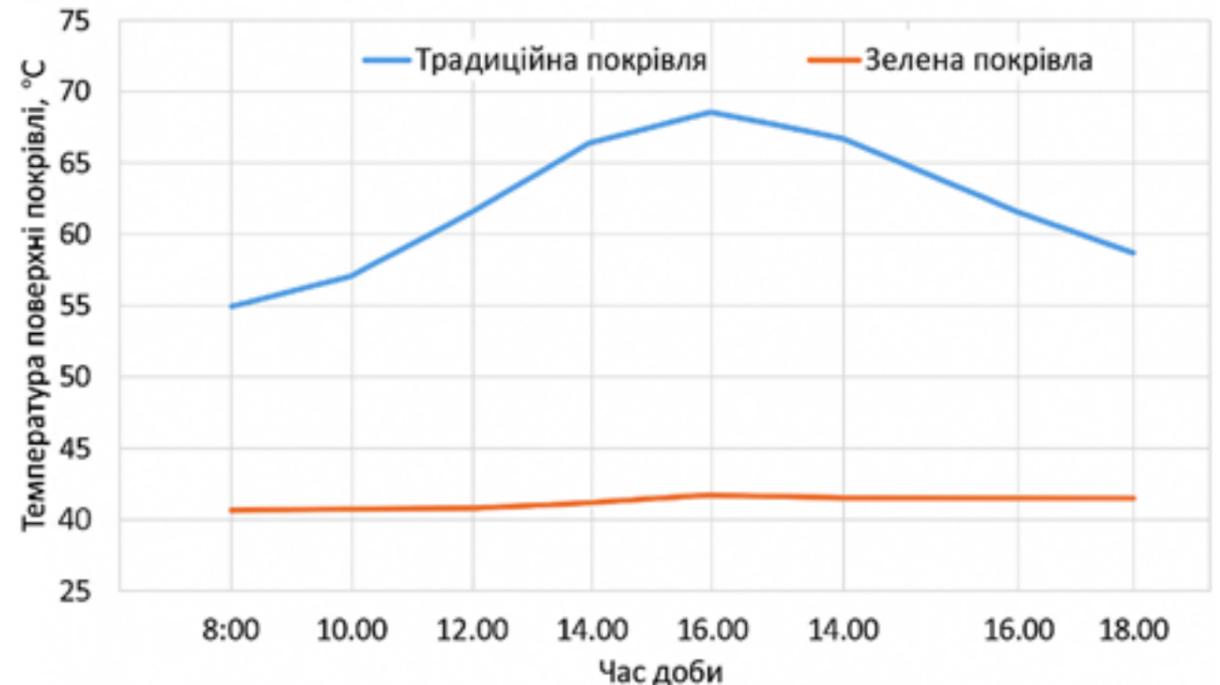
ВПЛИВ ЗЕЛЕНИХ СИСТЕМ НА ПОКАЗНИКИ БУДІВЛІ

Параметр	До реконструкції	Після озеленення
Температура поверхні покрівлі	68 °C	36 °C
Коефіцієнт теплопередачі U покрівлі	0,30-0,40	0,15-0,18
Рівень шуму всередині приміщень	55-60 дБ	42-48 дБ
Якість зовнішнього повітря	Пил 100 %	Зменшення на 30-40 %
Енергоспоживання на охолодження будівлі	100 %	65-80 %

ПОРІВНЯННЯ ТРАДИЦІЙНОЇ ТА ЗЕЛЕНОЇ ПОКРІВЛІ

Показник	Традиційна покрівля	Зелена покрівля
Температура поверхні влітку	65-75 °C	30-40 °C
Тепловий опір системи	Низький, залежить від утеплювача	Високий за рахунок ґрунтового шару
Навантаження на конструкції	Низьке	Середнє/високе (150-750 кг/м ²)
Термін служби гідроізоляції	10-15 років	25-40 років
Можливість використання простору	Відсутня	Рекреації та навчальні активності
Ефект для мікроклімату	Мінімальний	Охолодження, акумуляція опадів, фільтрація повітря

ТЕМПЕРАТУРА ПОКРІВЛІ ВЛІТКУ



АЛГОРИТМ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ



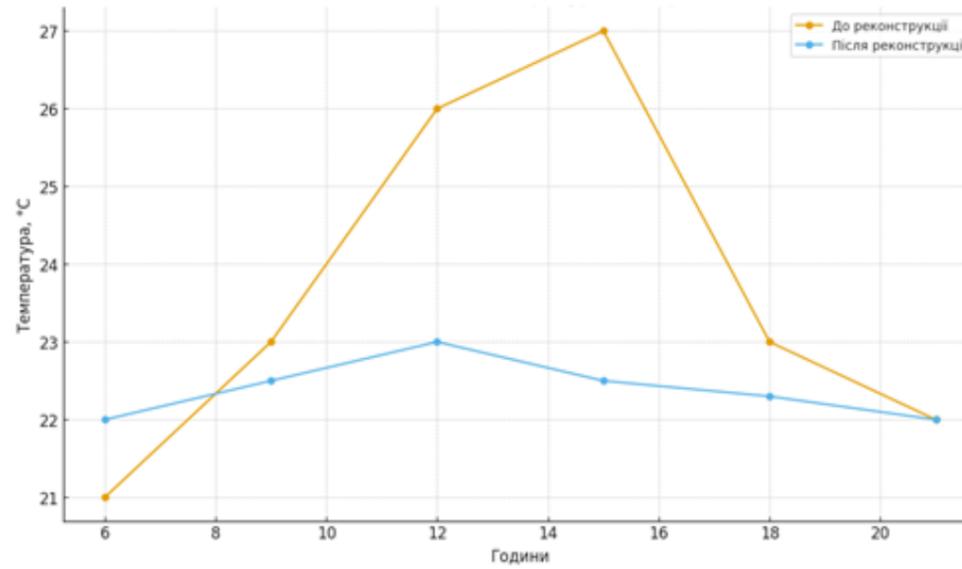
Екологічність оцінювалася як інтегральний показник, який включає чотири ключові групи параметрів:

1. Енергетичні показники;
2. Параметри мікроклімату;
3. Якість повітря;
4. Акустичний комфорт.

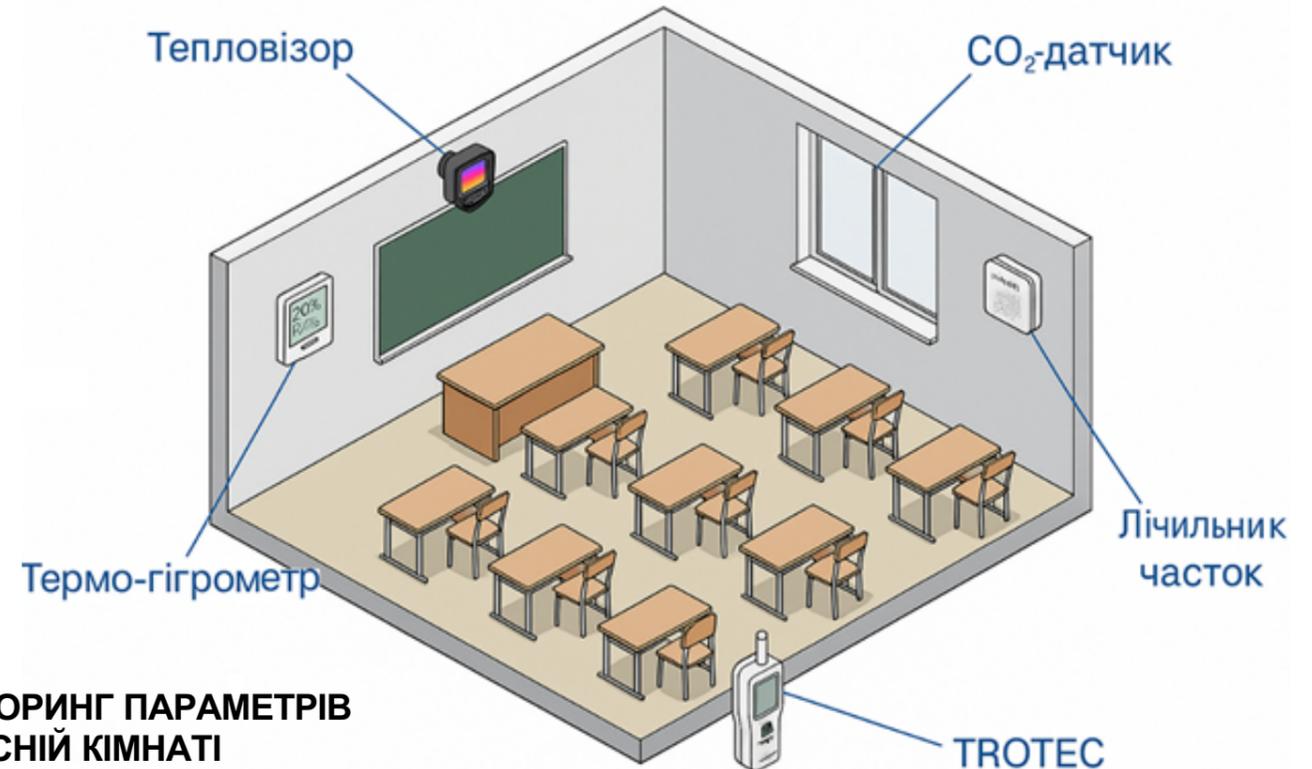
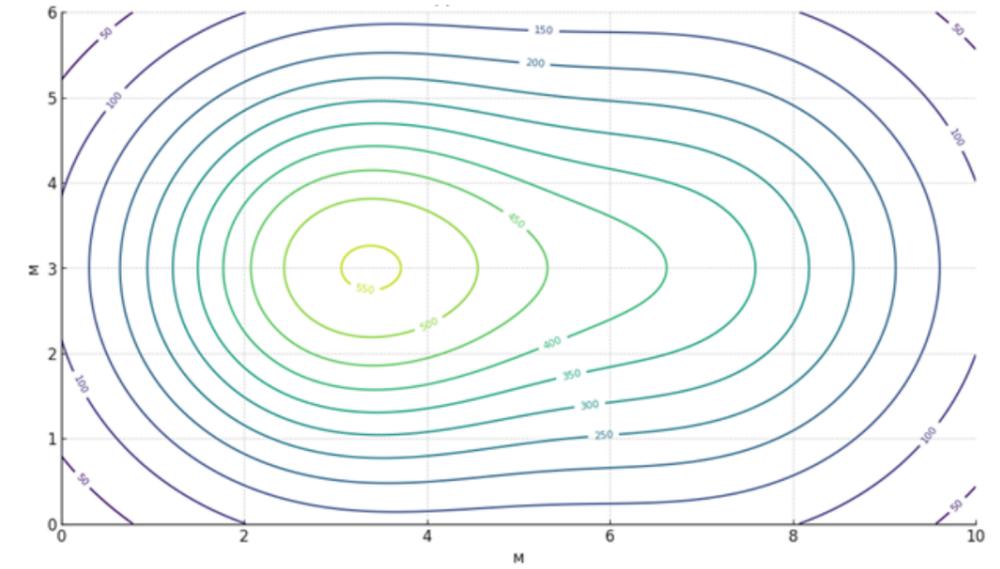
$$E_{int.} = \sum_{i=1}^n k_i N_i$$

де k_i - ваговий коефіцієнт,
 N_i - нормоване значення параметра

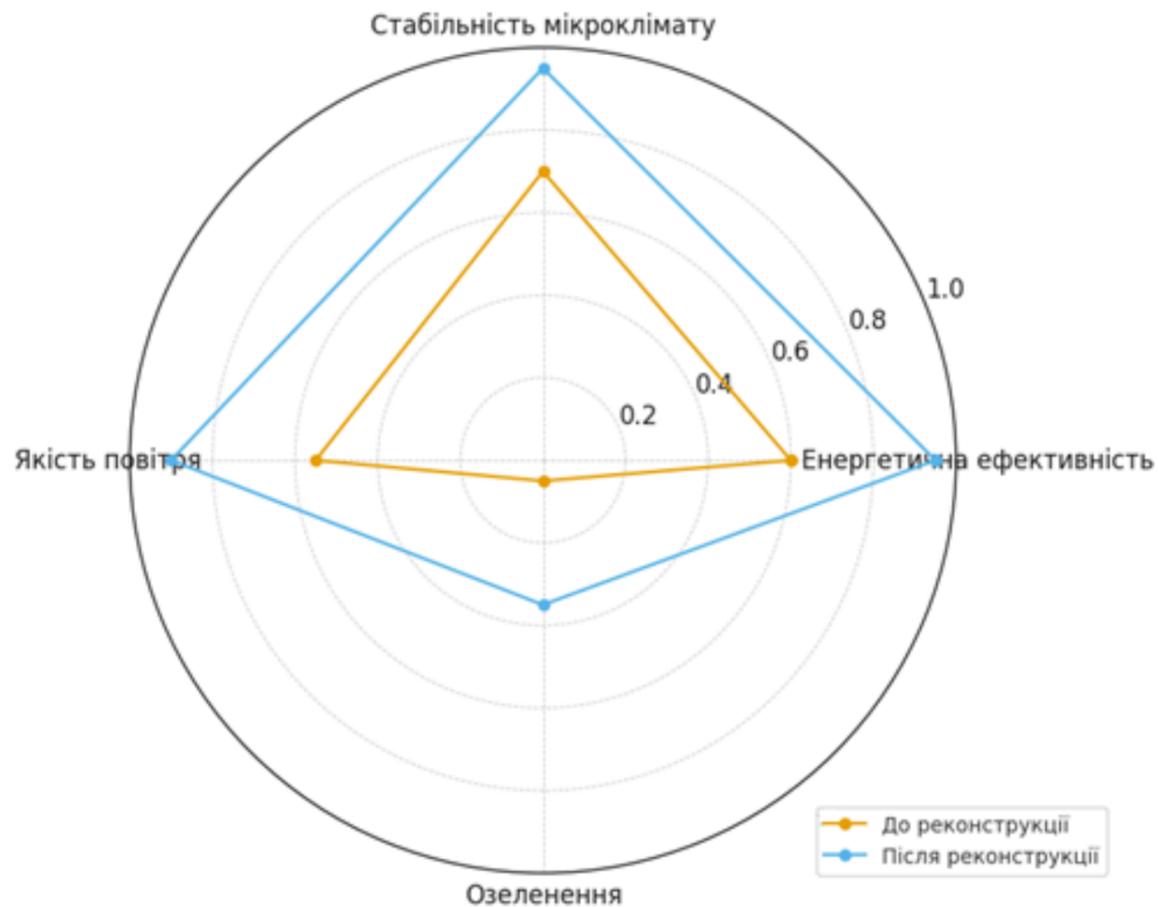
ДОБОВІ КОЛИВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В КЛАСІ



ІЗОЛІНІЇ ОСВІТЛЕНОСТІ



ПОРІВНЯННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ БУДІВЛІ ЗА $E_{\text{екол}}$



Для кількісної оцінки ефекту реконструкції запропоновано інтегральний показник екологічності будівлі навчального закладу $E_{\text{екол}}$, який враховує:

- питоме споживання енергії $q_{\text{ен}}$;
- питомі викиди парникових газів q_{CO2} ;
- показники мікроклімату;
- рівень акустичного комфорту;
- частку озелених поверхонь (покрівля + фасади) у загальній площі огорожень.

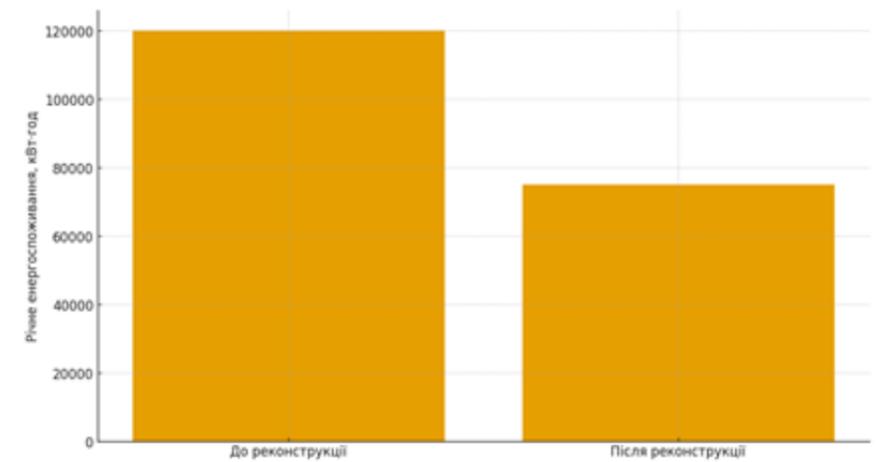
$$E_{\text{екол.}} = \sum_{i=1}^n \omega_i I_i$$

де I_i - нормовані (безрозмірні) показники за окремими критеріями, w_i - вагові коефіцієнти, що відображають відносну важливість кожного критерію; $\sum w_i = 1$

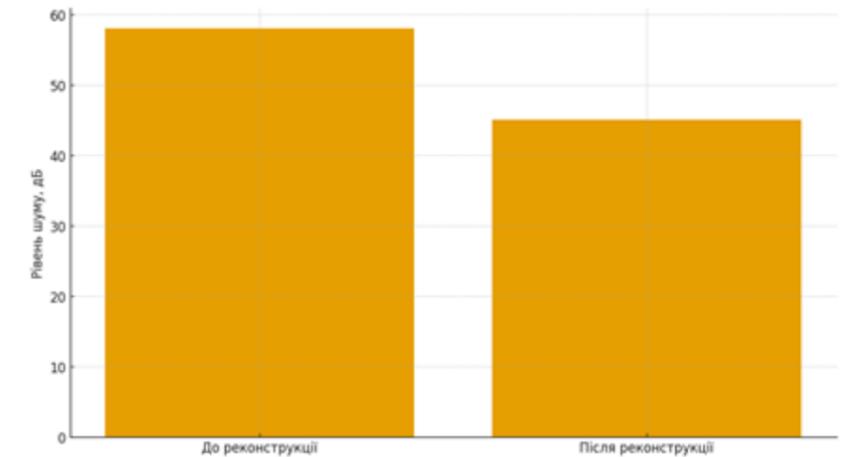
$E_{\text{екол}}$, до реконструкції $\approx 0,59$

$E_{\text{екол}}$, після реконструкції $\approx 0,90$

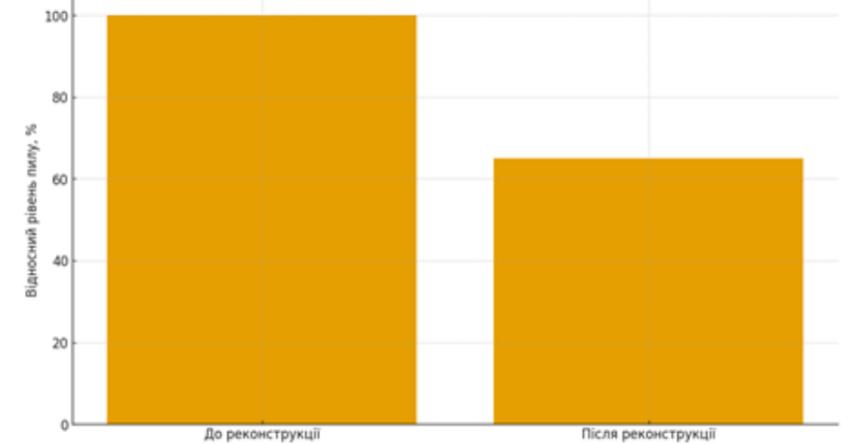
ПОРІВНЯННЯ РІЧНОГО СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ БУДІВЛЕЮ



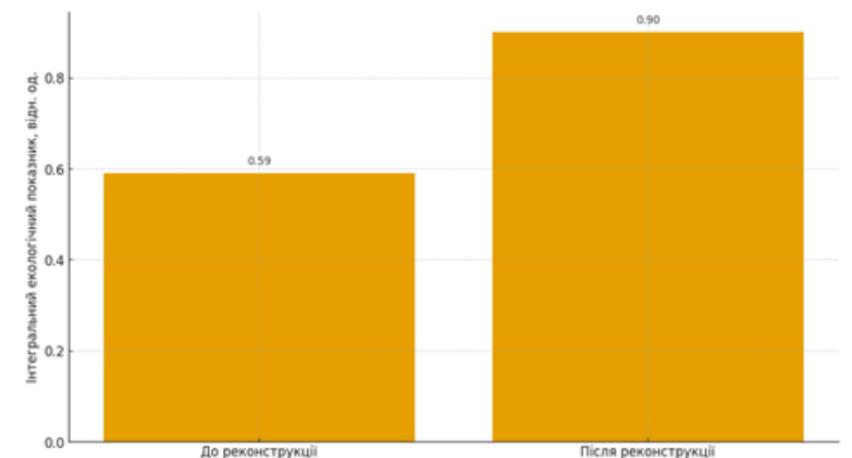
РІВЕНЬ ШУМУ ВСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕНЬ



ЗНИЖЕННЯ ПИЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ

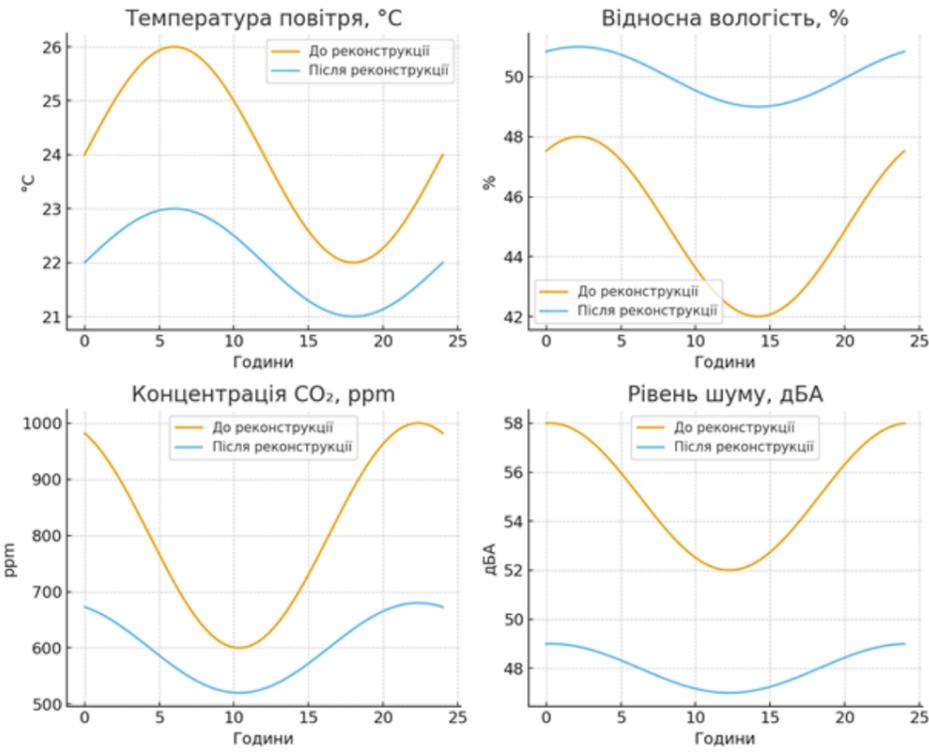


ЗМІНА ІНТЕГРАЛЬНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО ПОКАЗНИКА БУДІВЛІ



АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ РЕКОНСТРУКЦІЇ

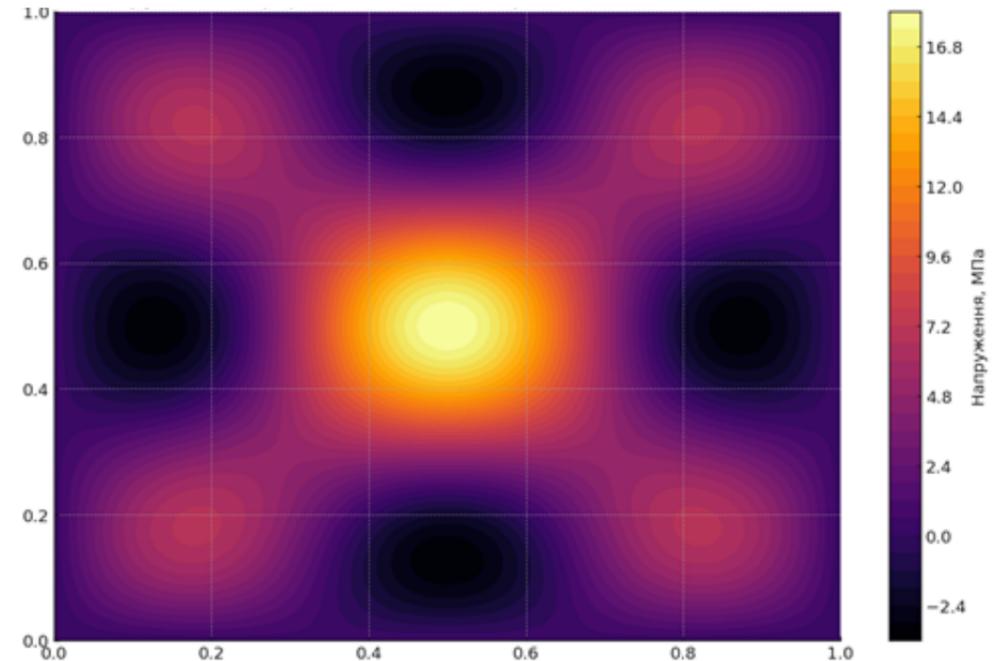
ІНФОГРАФІКА ЗМІНИ МІКРОКЛІМАТУ



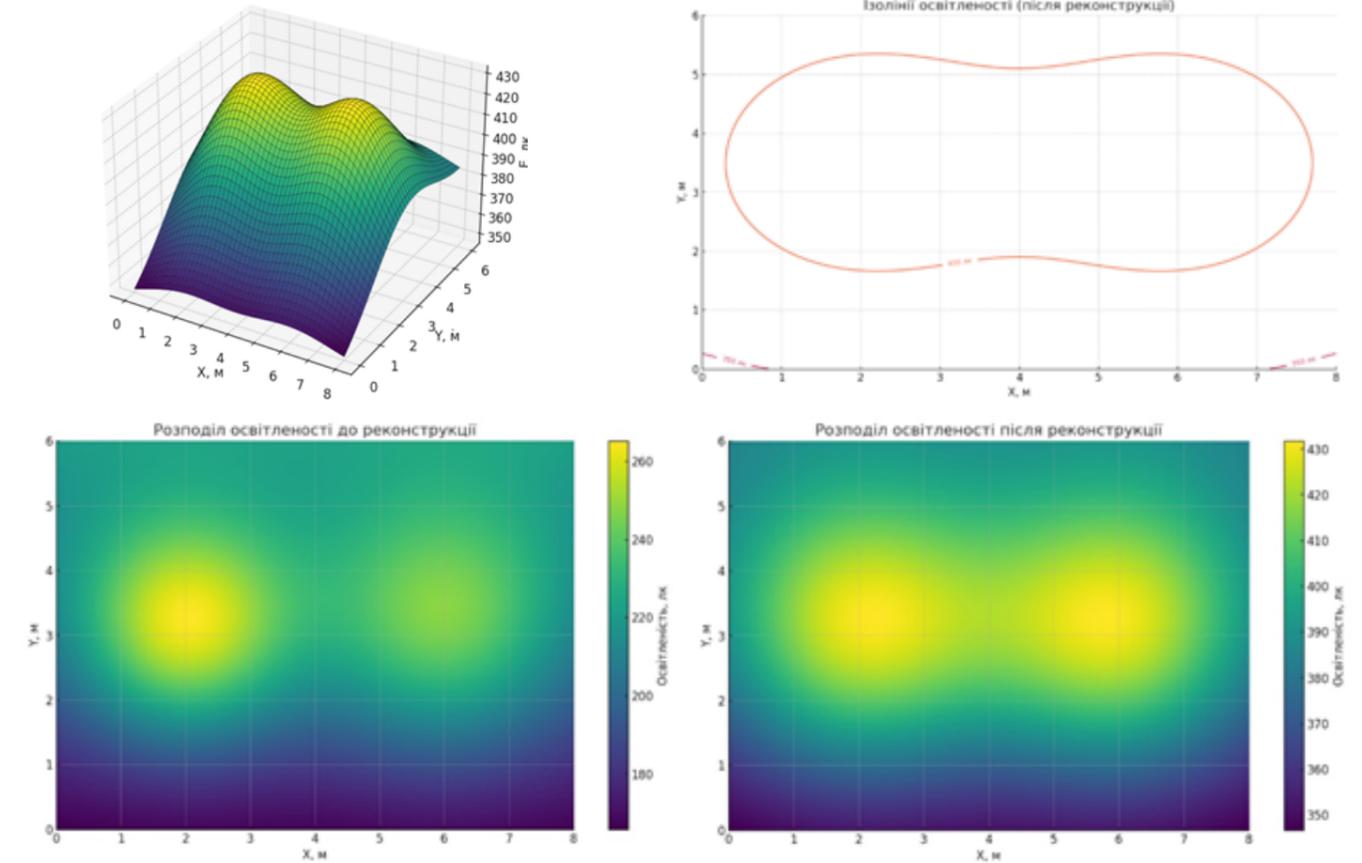
ПОРІВНЯННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПОКРІВЛІ

Показник	Значення
Максимальне напруження, МПа	14
Допустиме напруження, МПа	17
Максимальний прогин, мм	6,2
Граничний прогин, мм	8,0
Висновок	Несуча здатність забезпечена

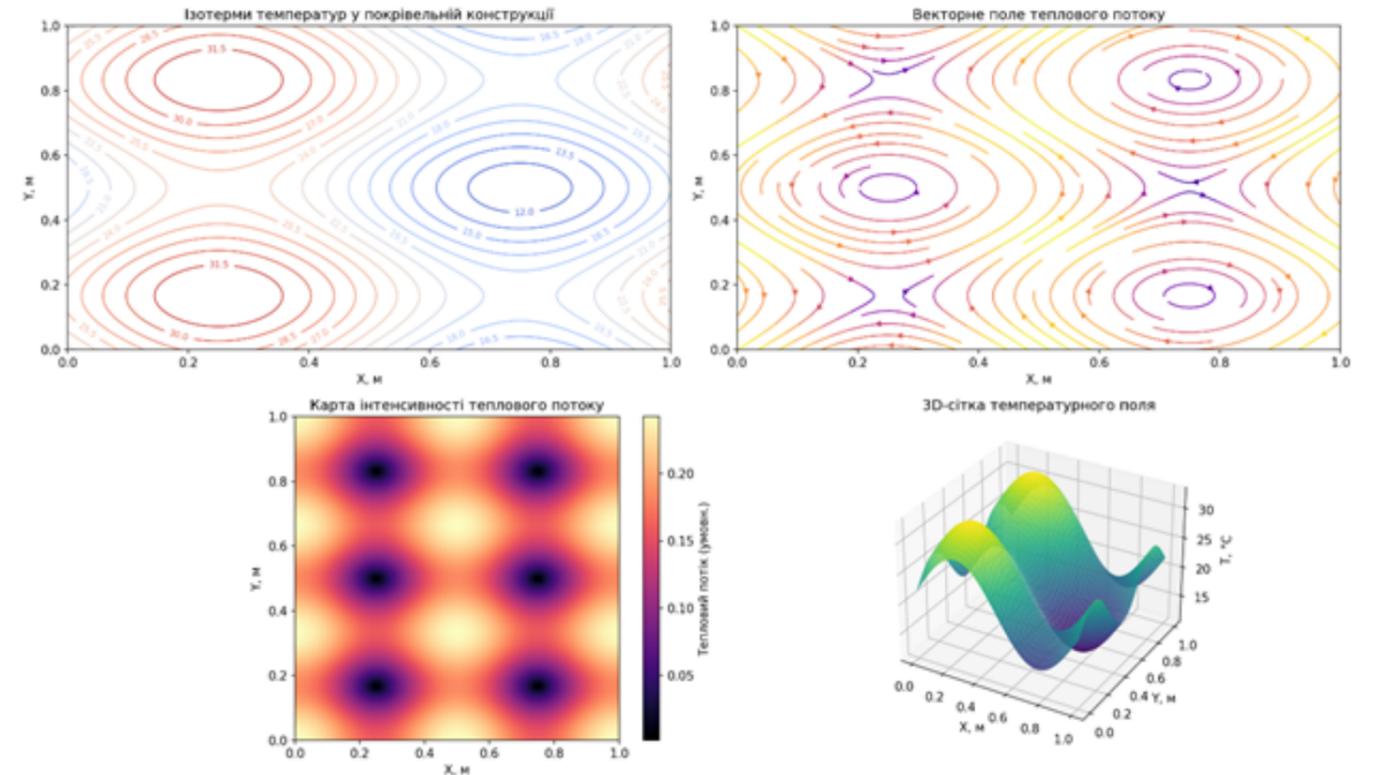
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПОКРІВЕЛЬНОЇ ПЛИТИ



СВІЛОТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ



МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНОГО РЕЖИМУ ПОКРІВЛІ



АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ РЕКОНСТРУКЦІЇ

ІНТЕГРАЛЬНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ДЛЯ ТРЬОХ СЦЕНАРІЇВ

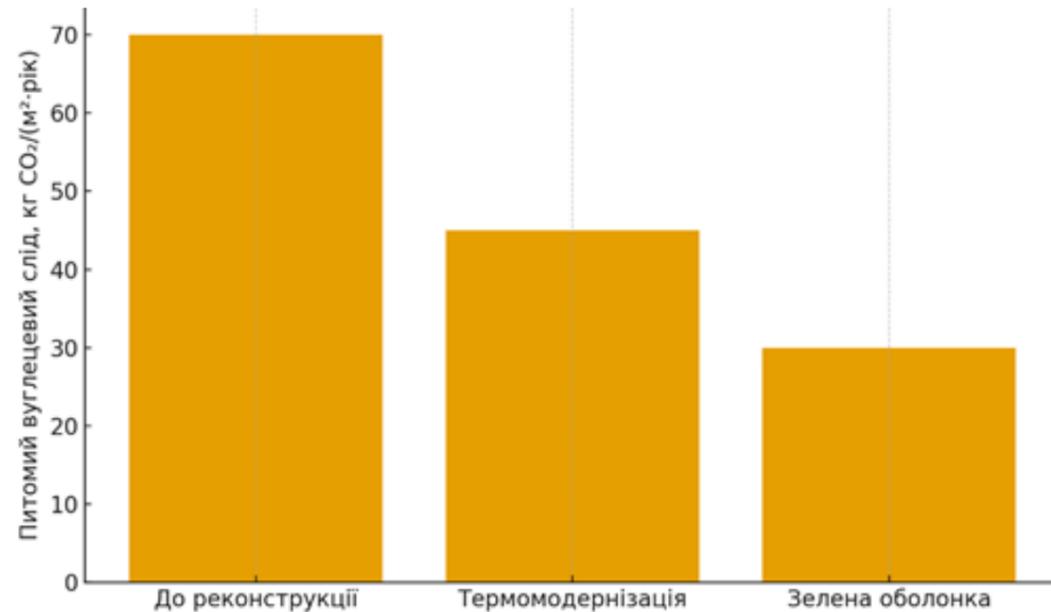
Критерій	Сценарій А (до реконструкції)	Сценарій Б (звичайна модернізація)	Сценарій В (зелена оболонка будівлі)
Теплотехнічна ефективність K ₁	0,32	0,68	0,91
Енергоспоживання K ₂	0,28	0,72	0,88
Мікроклімат K ₃	0,41	0,63	0,87
Вплив на довкілля K ₄	0,12	0,20	0,95
Комфортність середовища K ₅	0,35	0,55	0,82
Біорізноманіття K ₆	0,00	0,10	0,90
Довговічність K ₇	0,40	0,70	0,85
Інтегральний індекс I _e	0,27	0,51	0,88

Розрахунок вуглецевого сліду будівлі за результатами енергетичного балансу для трьох розглянутих сценаріїв

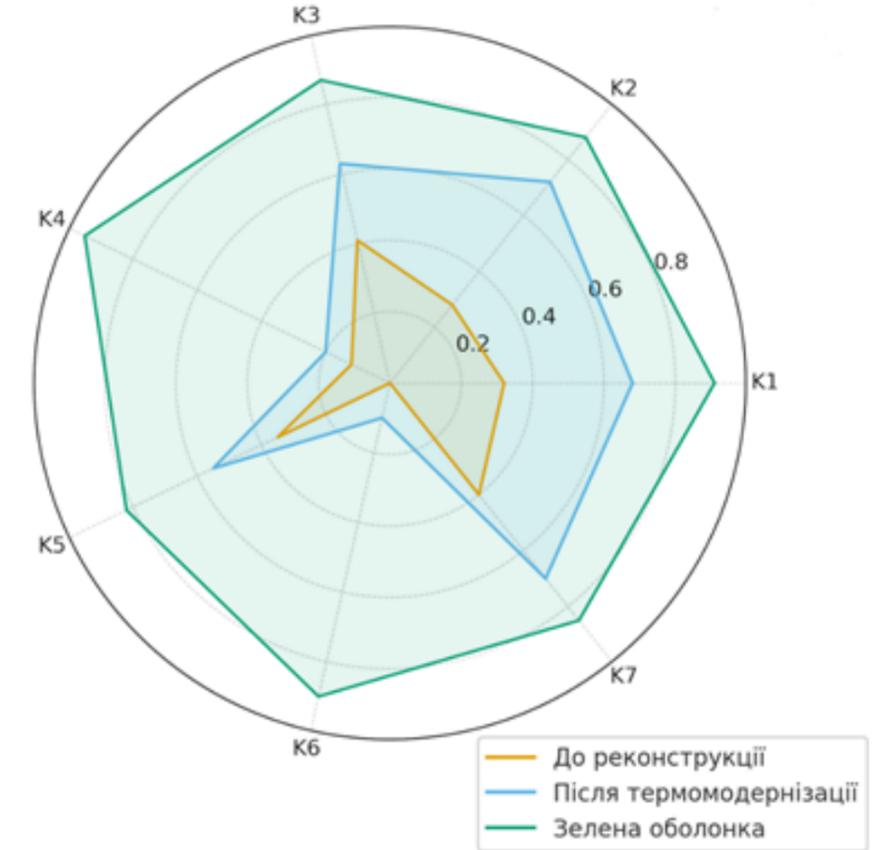
$$M_{CO_2} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot k_i$$

де Q_i - річне споживання відповідного виду енергоносія (теплова енергія на опалення, електроенергія на освітлення й інженерні системи), k_i - питомий коефіцієнт викидів CO₂ для даного енергоносія.

ПОРІВНЯННЯ ВУГЛЕЦЕВОГО СЛІДУ БУДІВЛІ ДЛЯ РІЗНИХ СЦЕНАРІЇВ



ІНТЕГРАЛЬНІ КРИТЕРІЇ K1-K7 ДЛЯ ТРЬОХ СЦЕНАРІЇВ



ІНТЕГРАЛЬНА ПОРІВНЯЛЬНА МОДЕЛЬ ЕКОЛОГІЧНОСТІ БУДІВЛІ ДЛЯ ТРЬОХ СЦЕНАРІЇВ



КОШТОРИСНА ВАРТІСТЬ ЗЕЛЕНОГО ФАСАДУ ТА ЗЕЛЕНОЇ ПОКРІВЛІ

ОБ'ЄКТНИЙ КОШТОРИС №03-001 НА БУДІВНИЦТВО ЗЕЛЕНОГО ФАСАДУ ТА ЗЕЛЕНОЇ ПОКРІВЛІ

№ Ч.ч.	Номери кошторисів і кошторисних розрахунків	Найменування робіт і витрат	Кошторисна вартість, тис.грн.			Кошторисна трудомісткість, тис. люд.год	Кошторисна заробітна плата, тис.грн.	Показники одиничної вартості
			Будівельних робіт	Устаткування, меблів та інвентарю	Всього			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	03-001-001	Влаштування зеленого фасаду	81.622		81.622	0.25238	20.695	
2	03-001-002	Зелена покрівля	2078.997		2078.997	2.81103	220.111	
		Всього по кошторису	2160.619		2160.619	3.06341	240.806	

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

Екологічна ефективність	<ol style="list-style-type: none"> 1. Поліпшення мікроклімату та зменшення теплового навантаження 2. Поліпшення якості повітря 3. Регулювання водного стоку 4. Підвищення біорізноманіття
Соціальна ефективність	<ol style="list-style-type: none"> 1. Формування комфортного та здорового освітнього середовища 2. Психологічний та когнітивний ефект 3. Формування екологічної свідомості 4. Збільшення привабливості та іміджу навчального закладу

Вартість робіт локального кошторису на влаштування зеленої покрівлі - 2078,997 тис. грн.

Вартість робіт локального кошторису на влаштування зеленого фасаду - 81,622 тис. грн.

Вартість робіт об'єктного кошторису - 81,622 тис. грн.

ЗАГАЛЬНА КОШТОРИСНА ВАРТІСТЬ ОБ'ЄКТА - 3435,869 тис. грн.

Термін окупності заходів складає 6-9 років залежно від обсягів енергоощадності, а річна економія енергоресурсів становить 28-45 %. Зниження експлуатаційних витрат супроводжується покращенням екологічних характеристик будівлі.

СИТУАЦІЙНА СХЕМА М1:2000



ФОТОФІКСАЦІЯ ТЕРИТОРІЇ

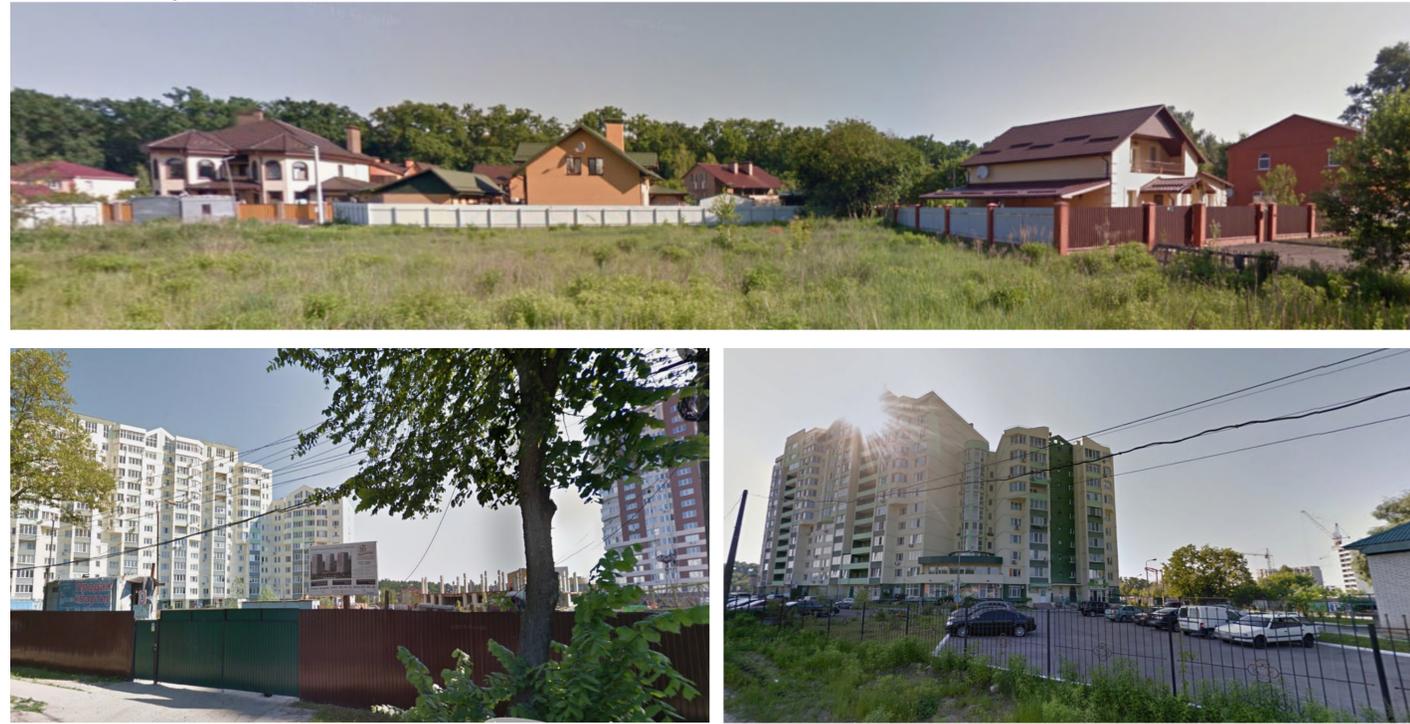


СХЕМА ГЕНПЛАНУ М1:500



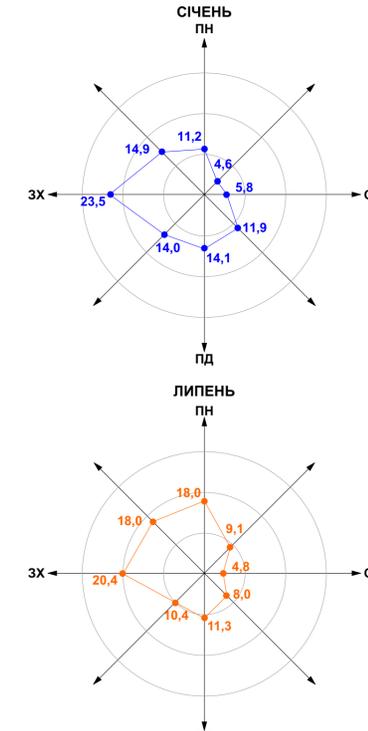
ОПОРНА СХЕМА М1:2000



ФОТОФІКСАЦІЯ БУДІВЛІ



РОЗА ВІТРІВ



ЕКСПЛІКАЦІЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

№	НАЙМЕНУВАННЯ	ПОВЕРХОВІСТЬ	ПЛОЩА ЗАБУДОВИ, м²	ПРИМІТКА
1	ШКОЛА	3	800,0	проект.
2	СУСІДНІ ІСНУЮЧІ БУДІВЛІ	-	-	існуюча

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

№	НАЙМЕНУВАННЯ	ОД. ВИМІРУ	КІЛЬКІСТЬ	ПРИМІТКА
1	ПЛОЩА ЗЕМЕЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ	га	0,2627	
2	ПЛОЩА ЗАБУДОВИ	м²	880,0	відсоток забудови 33,5%
3	ЗАГАЛЬНА ПЛОЩА ПРИМІЩЕНЬ	м²	3596,8	
4	ЗАГАЛЬНИЙ БУДІВЕЛЬНИЙ ОБ'ЄМ	м³	16 300,0	
5	- вище позначки 0,000	м³	12 800,0	
6	- нижче позначки 0,000	м³	4 600,0	
7	ПОВЕРХОВІСТЬ	пов.	3	
8	ВИСОТА	м	15,67	
9	СТУПІНЬ ВОГНЕСТІЙКОСТІ	-	II	
10	КІЛЬКІСТЬ ПАРКОМІСЬ	шт.	16	з них 2 для МГН
11	ПЛОЩА СПОРТИВНОГО МАЙДАНЧИКА	м²	235,0	площа гумового покриття 235,0 м²
12	ПЛОЩА МОЩЕННЯ ТРОТУАРНОЮ ПЛИТКОЮ	м²	990,0	
13	ПЛОЩА ОЗЕЛЕНЕННЯ	м²	520,0	

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ:

- школа
- існуюча забудова
- межа ділянки
- червона лінія
- мощення тротуарною плиткою
- гумове покриття (площадка)
- газонне покриття
- асфальтне покриття

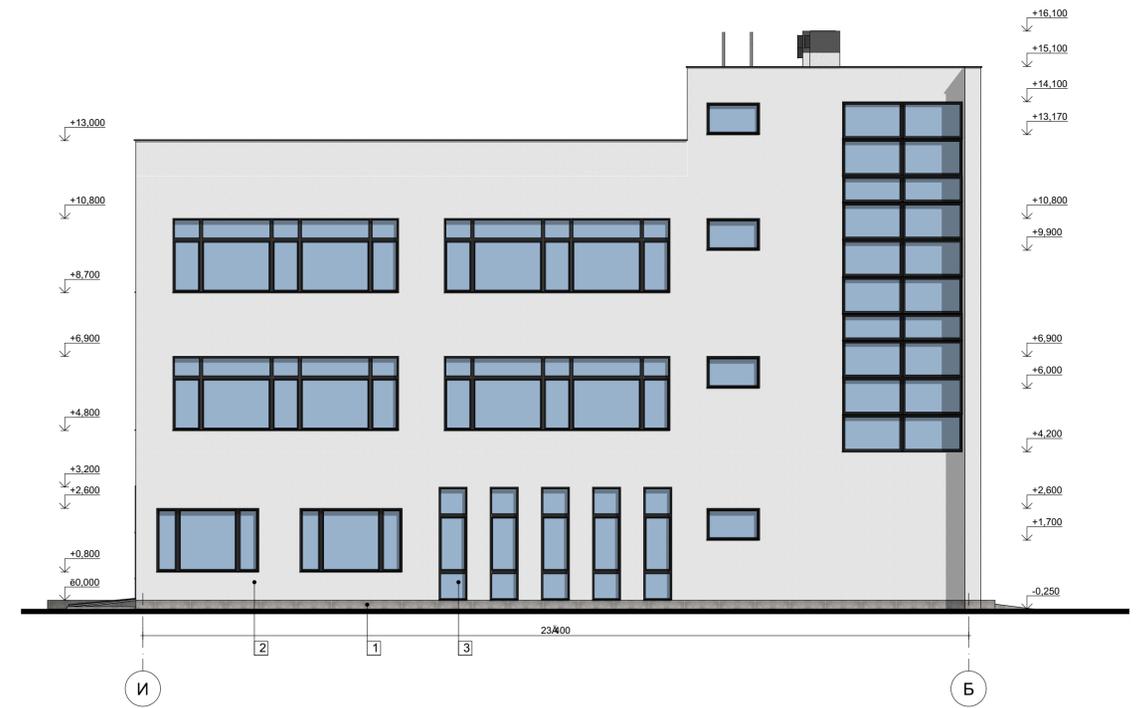
- ПРИМІТКИ**
- Всі розміри вказані в метрах.
 - Генеральний план виконано на топогеодезичній зйомці.
 - За відносну відмітку взято рівень чистої підлоги +0,000.

					08-11.МКР.015 - АР				
					Підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції				
					Ліцей		Стадія	Аркуш	Аркушів
Зм.	Кук.	Арх.	Ніж.	Підп.	Дата	АР	9	17	
Розробила	Слюсар І.О.	Бондар А.В.				Ситуаційна схема М1:2000; Генеральний план М1:500; Опорна схема М1:2000; Фотофіксація			
Перевірила	Бондар А.В.	Масвська І.В.				ВНТУ, гр 1Б-24м			
Коривник	Масвська І.В.	Панкевич О.Д.							
Н. Контр.	Панкевич О.Д.	Швець В.В.							
ОпONENT	Швець В.В.								
Затвердив									

ФАСАД В ОСЯХ 2-8 ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ М1:100



ФАСАД В ОСЯХ И-Б ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ М1:100



ФАСАД В ОСЯХ 8-2 ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ М1:100



ФАСАД В ОСЯХ Б-И ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ М1:100



ПАСПОРТ ОПОРЯДЖЕННЯ ФАСАДІВ

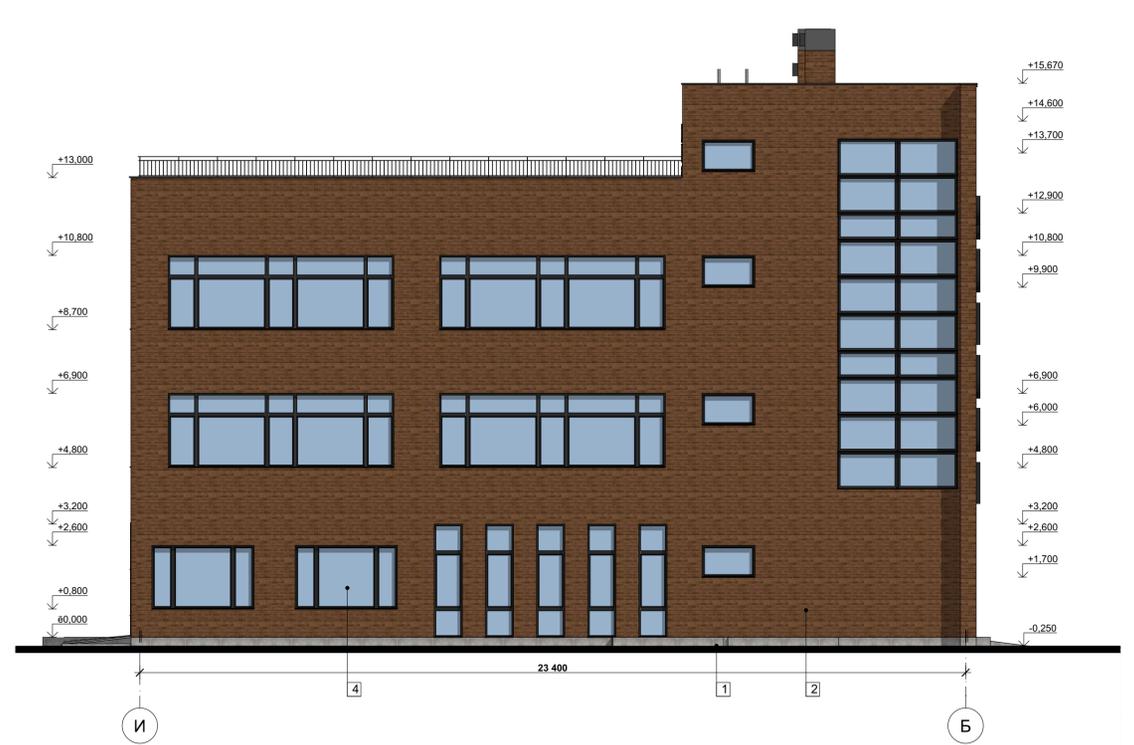
ПОЗ.	ЕЛЕМЕНТИ БУДІВЛІ	ВИД ОПОРЯДЖЕННЯ	КОЛІР
1	Поверхня цоколю	Піщана штукатурка	
2	Поверхня стін	Піщана штукатурка	
3	Вікна	Металопластикові	
4	Двері	Металопластикові	

08-11.МКР.015 - АР					
Підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції					
Зм.	Кільк.	Аркуш	№Арк.	Підпис	Дата
Розробила	Слюсар І.О.				
Перевірила	Бондар А.В.				
Корвіник	Бондар А.В.				
Н. Контр.	Масвська І.В.				
Опонент	Панкевич О.Д.				
Затвердив	Швець В.В.				
Ліцей				Стадія	Аркушів
Фасади будівлі до реконструкції М1:100				АР	17
				ВНТУ, гр 1Б-24м	

ФАСАД В ОСЯХ 2-8 ПІСЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ М1:100



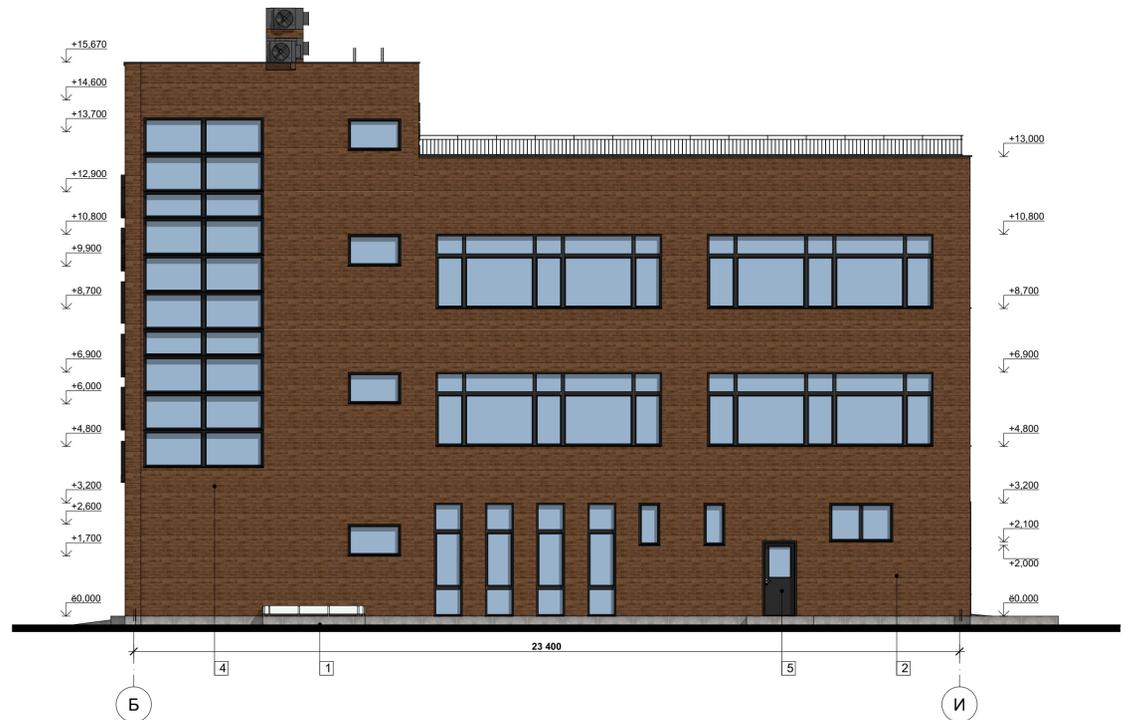
ФАСАД В ОСЯХ И-Б ПІСЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ М1:100



ФАСАД В ОСЯХ 8-2 ПІСЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ М1:100



ФАСАД В ОСЯХ Б-И ПІСЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ М1:100



ПАСПОРТ ОПОРЯДЖЕННЯ ФАСАДІВ

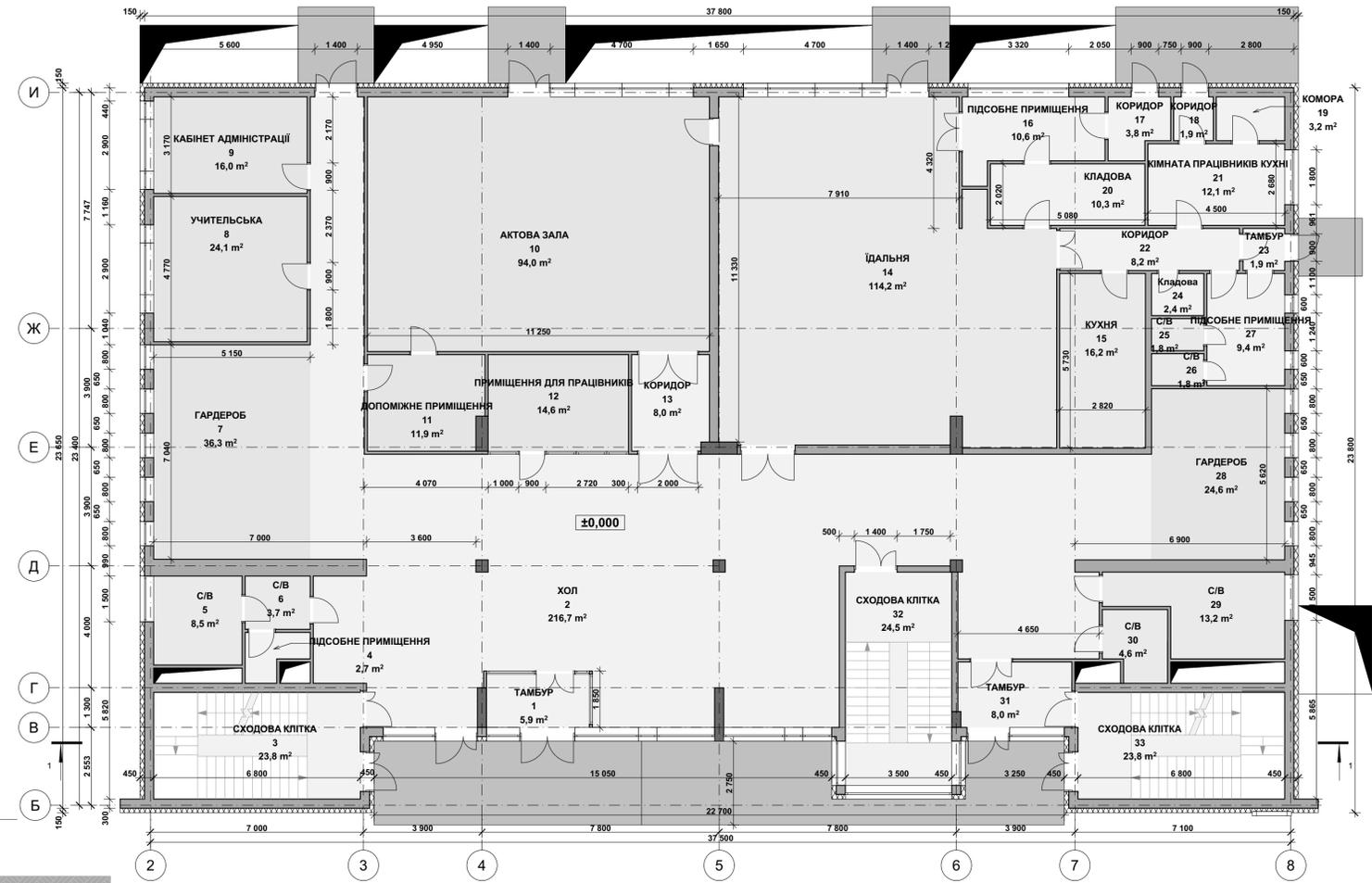
ПОЗ.	ЕЛЕМЕНТИ БУДІВЛІ	ВИД ОПОРЯДЖЕННЯ	КОЛІР
1	ΑΓΓΛΙΚΑ/ΕΥΡΩΠΑΪΚΑ	ΠΛΑΤΕΙΑ ΟΡΟΦΗ	ΣΗΡΕ
2	ΑΓΓΛΙΚΑ/ΕΙΣΟΔΟΣ	ΕΠΙΧΡΩΜΑΤΩΜΕΝΟ	ΚΑΡΜΕΝ
3	ΕΠΙΧΡΩΜΑΤΩΜΕΝΟ	ΕΡΩΣΤΩΜΕΝΟ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ
4	ΟΡΟΦΗ	ΕΠΙΧΡΩΜΑΤΩΜΕΝΟ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ
5	ΕΠΙΧΡΩΜΑΤΩΜΕΝΟ	ΕΠΙΧΡΩΜΑΤΩΜΕΝΟ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

08-11.МКР.015 - АР					
Підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції					
Зм.	Кільк.	Аркуш	№Арк.	Підпис	Дата
Розробила	Слюсар І.О.				
Перевірила	Бондар А.В.				
Коректор	Бондар А.В.				
Н. Контр.	Масарська І.В.				
Спонент	Панкевич О.Д.				
Затвердив	Швець В.В.				
Ліцей		Стадія	Аркуш	Аркушів	
Фасади будівлі після реконструкції М1:100		АР	11	17	
ВНТУ, гр 1Б-24м					

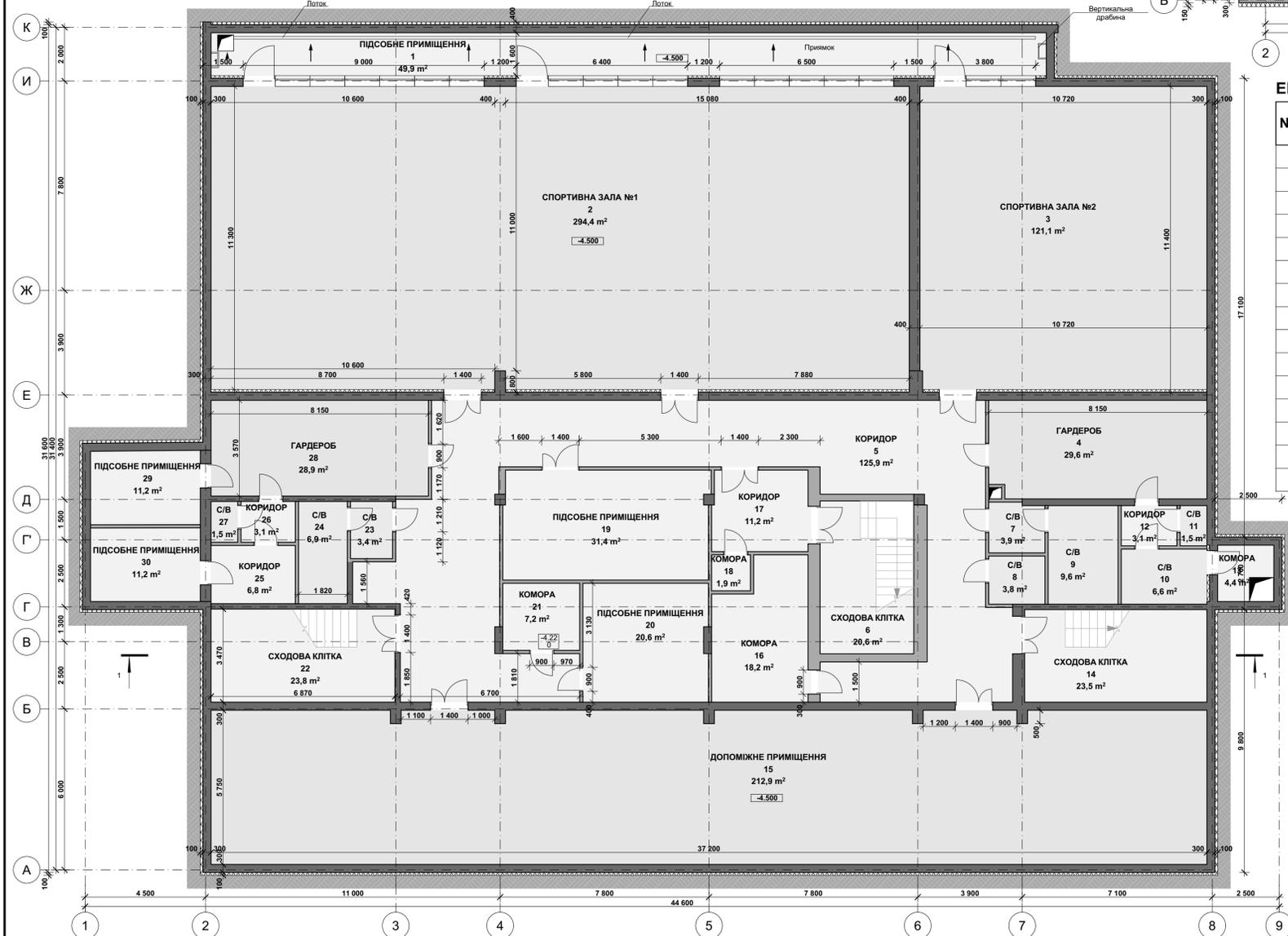
ПЛАН ПЕРШОГО ПОВЕРХУ НА ВІД. ±0,000 М1:200

ЕКСПЛІКАЦІЯ ПРИМІЩЕНЬ ПЕРШОГО ПОВЕРХУ

№п.п	НАЙМЕНУВАННЯ	ПЛОЩА, м2	№п.п	НАЙМЕНУВАННЯ	ПЛОЩА, м2
1	ТАМБУР	6,44	18	КОРИДОР	1,87
2	ХОЛ	217,74	19	КОМОРА	3,24
3	СХОДОВА КЛІТКА	23,84	20	КЛАДОВА	10,26
4	ПІДСОБНЕ ПРИМІЩЕННЯ	2,69	21	КІМНАТА ПРАЦІВНИКІВ КУХНІ	12,06
5	С/В	8,50	22	КОРИДОР	8,16
6	С/В	3,75	23	ТАМБУР	1,89
7	ГАРДЕРОБ	36,26	24	Кладова	2,37
8	УЧИТЕЛЬСЬКА	24,09	25	С/В	1,81
9	КАБІНЕТ АДМІНІСТРАЦІЇ	16,01	26	С/В	1,81
10	АКТОВА ЗАЛА	94,05	27	ПІДСОБНЕ ПРИМІЩЕННЯ	9,45
11	ДОПОМІЖНЕ ПРИМІЩЕННЯ	11,93	28	ГАРДЕРОБ	24,62
12	ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ ПРАЦІВНИКІВ	14,65	29	С/В	13,23
13	КОРИДОР	8,03	30	С/В	4,64
14	ІДАЛЬНЯ	114,16	31	ТАМБУР	8,01
15	КУХНЯ	16,16	32	СХОДОВА КЛІТКА	25,37
16	ПІДСОБНЕ ПРИМІЩЕННЯ	10,56	33	СХОДОВА КЛІТКА	23,80
17	КОРИДОР	3,76			765,21 м2



ПЛАН ПІДВАЛЬНОГО ПОВЕРХУ НА ВІД. -4,500 М1:200



ЕКСПЛІКАЦІЯ ПРИМІЩЕНЬ ПІДВАЛЬНОГО ПОВЕРХУ

№п.п	НАЙМЕНУВАННЯ	ПЛОЩА, м2	№п.п	НАЙМЕНУВАННЯ	ПЛОЩА, м2
1	ПІДСОБНЕ ПРИМІЩЕННЯ	49,92	16	КОМОРА	18,16
2	СПОРТИВНА ЗАЛА №1	294,42	17	КОРИДОР	11,19
3	СПОРТИВНА ЗАЛА №2	121,14	18	КОМОРА	1,94
4	ГАРДЕРОБ	29,63	19	ПІДСОБНЕ ПРИМІЩЕННЯ	31,38
5	КОРИДОР	125,88	20	ПІДСОБНЕ ПРИМІЩЕННЯ	20,60
6	СХОДОВА КЛІТКА	20,65	21	КОМОРА	7,18
7	С/В	3,86	22	СХОДОВА КЛІТКА	23,84
8	С/В	3,76	23	С/В	3,36
9	С/В	9,59	24	С/В	6,93
10	С/В	6,58	25	КОРИДОР	6,84
11	С/В	1,53	26	КОРИДОР	3,09
12	КОРИДОР	3,12	27	С/В	1,52
13	КОМОРА	4,41	28	ГАРДЕРОБ	28,87
14	СХОДОВА КЛІТКА	23,49	29	ПІДСОБНЕ ПРИМІЩЕННЯ	11,22
15	ДОПОМІЖНЕ ПРИМІЩЕННЯ	212,90	30	ПІДСОБНЕ ПРИМІЩЕННЯ	11,25
					1 098,25 м2

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ:

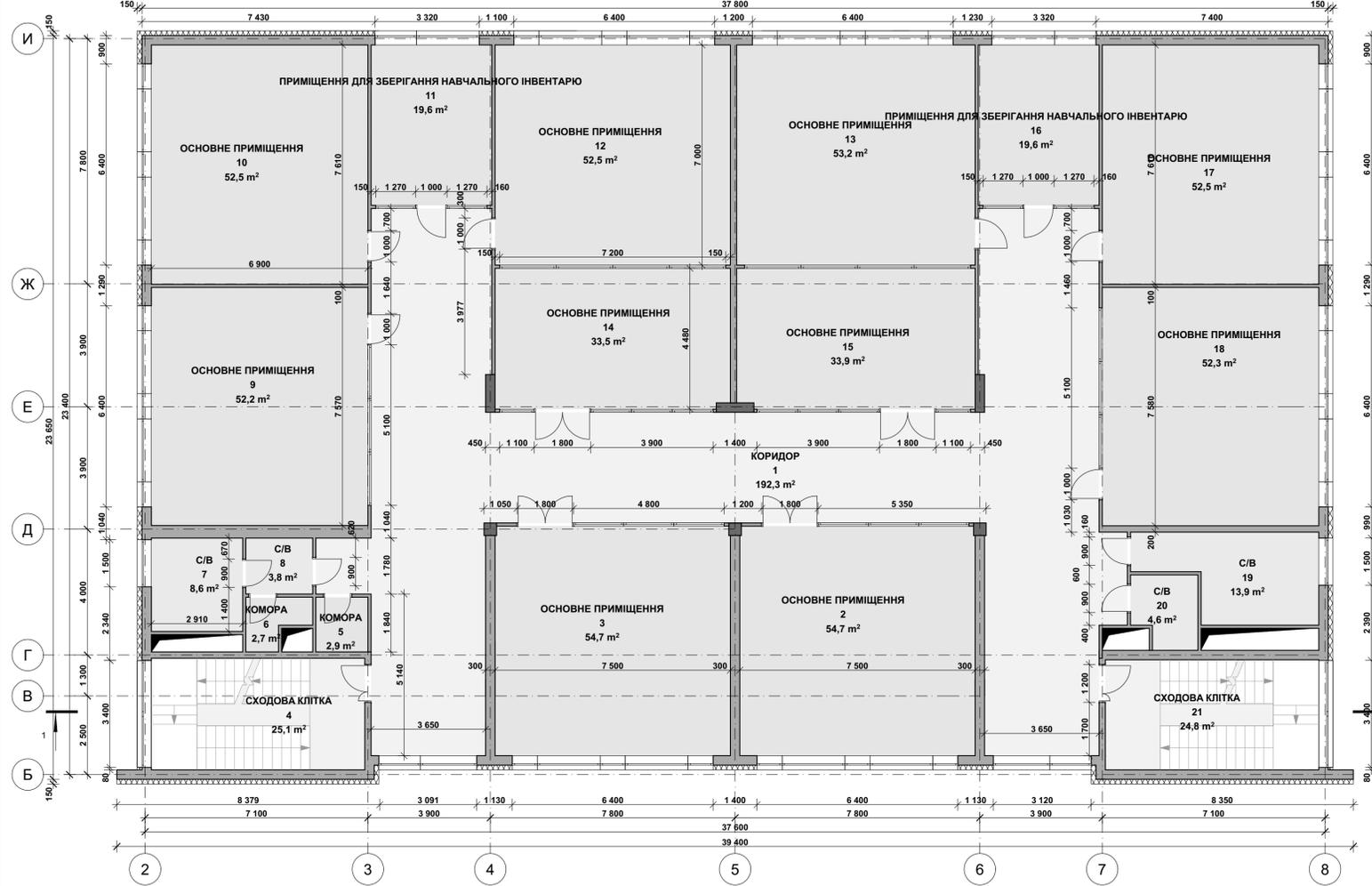
- зовнішня стіна: газоблок (300 мм), утеплювач (150 мм)
- внутрішня стіна: газоблок (550 мм)
- внутрішня стіна: газоблок (400 мм)
- внутрішня стіна: газоблок (300 мм)
- внутрішня стіна: газоблок (200 мм)
- внутрішня стіна: газоблок (100 мм)
- внутрішня стіна: монолітна залізобетонна стіна (400 мм)
- зовнішня стіна: монолітна залізобетонна стіна (300 мм), утеплювач (150 мм)
- внутрішня стіна: монолітна залізобетонна стіна (300 мм)
- внутрішня стіна: газоблок (250 мм)

ПРИМІТКИ:

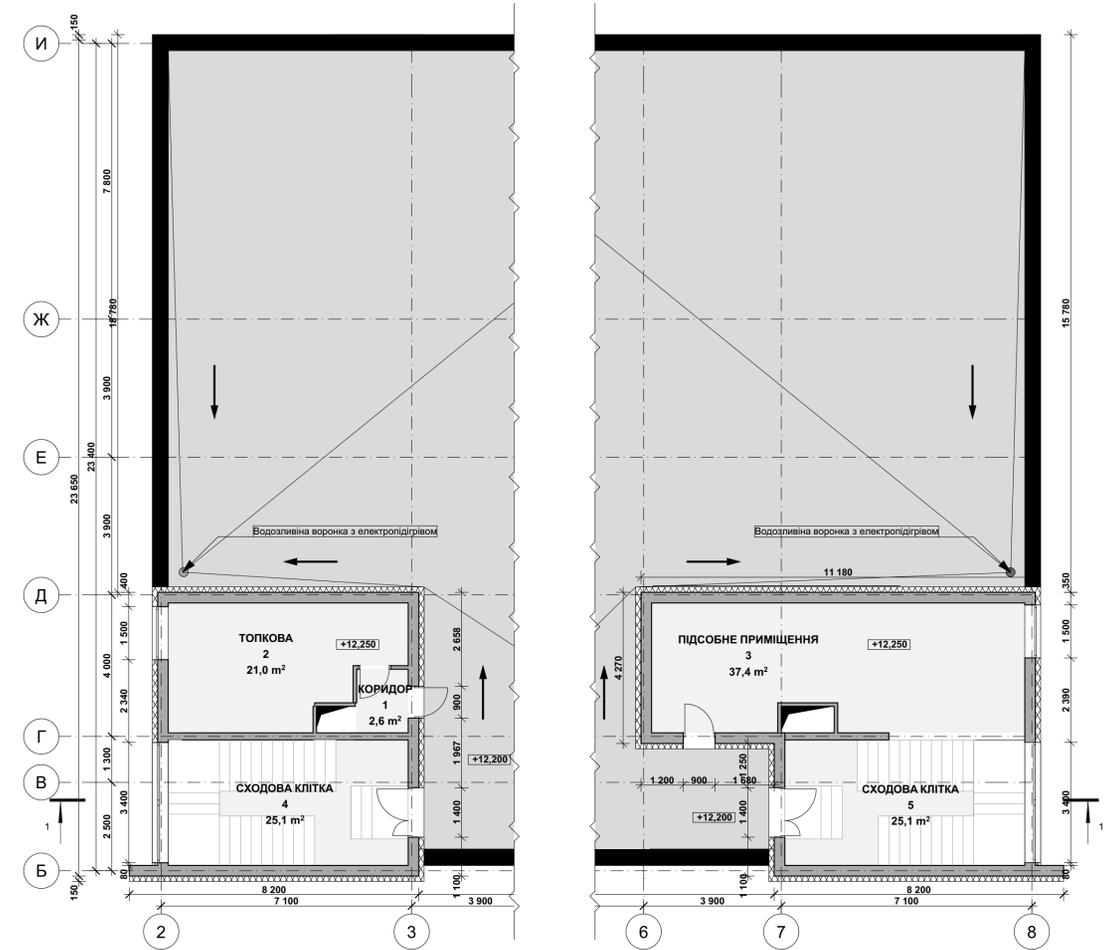
1. За відмітку 0,000 прийнятий рівень чистої підлоги першого поверху.
2. Вікна повинні бути мінімально двокамерні з потрібним склінням.

						08-11.МКР.015 - АР			
						Підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції			
Зм.	Кук.	Арх.	Ніж.	Підпис	Дата	Ліцей	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробила	Слюсар І.О.	Бондар А.В.					АР	12	17
Перевірила	Бондар А.В.					План підвального поверху на від. -4,500 М1:100; План першого поверху на від. ±0,000 М1:100	ВНТУ, гр 1Б-24м		
Корвіник	Масарська І.В.								
Н. Контр.	Панкевич О.Д.	Швейць В.В.							

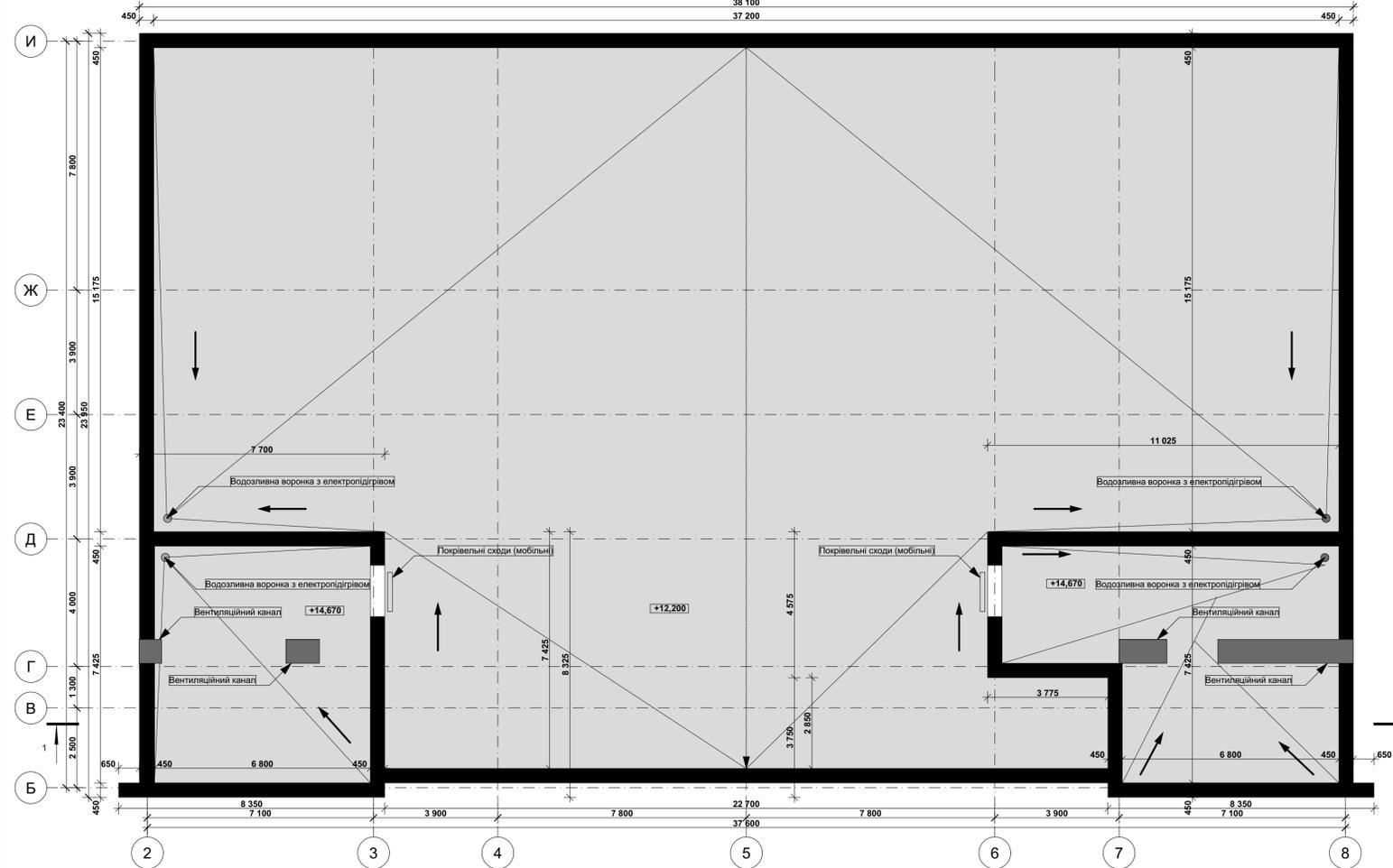
ПЛАН ДРУГОГО ПОВЕРХУ НА ВІД. +4,200 ТА ТРЕТЬОГО ПОВЕРХУ НА ВІД. +8,050 М1:100



ПЛАН ГОРИЩНОГО ПОВЕРХУ НА ВІД. +12,250 М1:100



ПЛАН ПОКРІВЛІ М1:100



ЕКСПЛІКАЦІЯ ПРИМІЩЕНЬ ГОРИЩНОГО ПОВЕРХУ

№п.п	НАЙМЕНУВАННЯ	ПЛОЩА, м2
1	КОРИДОР	2,63
2	ТОПКОВА	21,01
3	ПІДСОБНЕ ПРИМІЩЕННЯ	37,42
4	СХОДОВА КЛІТКА	24,62
5	СХОДОВА КЛІТКА	24,62
	РАЗОМ	110,30 м²

ЕКСПЛІКАЦІЯ ПРИМІЩЕНЬ ДРУГОГО ПОВЕРХУ

№п.п	НАЙМЕНУВАННЯ	ПЛОЩА, м2
1	КОРИДОР	192,29
2	ОСНОВНЕ ПРИМІЩЕННЯ	54,67
3	ОСНОВНЕ ПРИМІЩЕННЯ	54,72
4	СХОДОВА КЛІТКА	24,64
5	КОМОРА	2,89
6	КОМОРА	2,75
7	С/В	8,64
8	С/В	3,84
9	ОСНОВНЕ ПРИМІЩЕННЯ	52,23
10	ОСНОВНЕ ПРИМІЩЕННЯ	52,47
11	ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ НАВЧАЛЬНОГО ІНВЕНТАРЮ	19,64
12	ОСНОВНЕ ПРИМІЩЕННЯ	52,50
13	ОСНОВНЕ ПРИМІЩЕННЯ	53,20
14	ОСНОВНЕ ПРИМІЩЕННЯ	33,51
15	ОСНОВНЕ ПРИМІЩЕННЯ	33,94
16	ПРИМІЩЕННЯ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ НАВЧАЛЬНОГО ІНВЕНТАРЮ	19,64
17	ОСНОВНЕ ПРИМІЩЕННЯ	52,55
18	ОСНОВНЕ ПРИМІЩЕННЯ	52,30
19	С/В	13,90
20	С/В	4,64
21	СХОДОВА КЛІТКА	24,30
	РАЗОМ	809,26 м²

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ:

- зовнішня стіна: газоблок (300 мм), утеплювач (150 мм)
- внутрішня стіна: газоблок (550 мм)
- внутрішня стіна: газоблок (400 мм)
- внутрішня стіна: газоблок (300 мм)
- внутрішня стіна: газоблок (200 мм)
- внутрішня стіна: газоблок (100 мм)
- внутрішня стіна: монолітна залізобетонна стіна (400 мм)

ПРИМІТКИ:

- За відмітку 0,000 прийнятий рівень чистої підлоги першого поверху.
- Вікна повинні бути мінімально двокамерні з потрібним склінням.

08-11.МКР.015 - АР					
Підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції					
Зм.	Кільк.	Аркуш	№Арк.	Підпис	Дата
Розробила	Слюсар І.О.				
Перевірила	Бондар А.В.				
Корівник	Бондар А.В.				
Н. Контр.	Мавсясь І.В.				
ОпONENT	Панкевич О.Д.				
Затвердив	Шевць В.В.				
Ліцей					Стадія
План другого поверху на від. +4,200 та третього поверху на від. +8,050 М1:100; План горіщного поверху на від. +12,250 М1:100; План покрівлі М1:100					Аркушів
ВНТУ, гр 1Б-24м					17

РОЗРІЗ 1-1 ПІСЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ М1:100

- бетонна плита (бетон В25 П4-СМ) армована сіткою Вр-4 Ø4 чарункою 100x100мм - 50мм
- голкопробивний геотекстиль Tiptex BS 25
- дренажна шпигвидна мембрана Planter - 8мм
- ПВХ мембрана "Viniltek" 1.5мм армована
- голкопробивний геотекстиль Tiptex BS 16
- вирівнюючий шар - цем.-піщана армована стяжка $\gamma=1800 \text{ кг/м}^3$
- $\lambda=0.93 \text{ Вт/(м·К)}$ $s=9.76 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ сіткою Вр-4 Ø4 чарункою 100x100мм - 50мм
- похилоутворюючий шар - пінополістиролбетон $\gamma=300 \text{ кг/м}^3$ $\lambda=0.11 \text{ Вт/(м·К)}$ - 50...100мм
- поліетиленова плівка склеєна скотчем
- теплоізоляція мінераловатні плити по ДСТУ Б В.2.7-97-2000
- $\lambda=0.044 \text{ Вт/(м·К)}$ $\gamma=200 \text{ кг/м}^3$ - 250мм
- пароізоляція - "Паробар'єр Н110" склеєна стрічкою К-2
- монолітна з.б. плита покриття - 200 мм

- зносостійке ПВХ-покриття - 3мм
- цем.-піщана стяжка М100 армована сіткою Вр-4 Ø4 чарункою 100x100мм - 50мм
- поліетиленова плівка щільн. 110г/м²
- шумоізоляція - мінеральна вата "Acoustic Wool Floor" - 20мм
- монолітна з.б. плита перекриття - 200* мм по ДСТУ Б В.2.7-97-2000
- $\lambda=0.044 \text{ Вт/(м·К)}$ $\gamma=80...90 \text{ кг/м}^3$ - 250мм
- підвісна стеля з прямокутних алюмінієвих рейок шпр. 185ммx12,5мм по металевому каркасу

- декоративна цегла
- армована штукатурка
- ґрунтовка - 1 шар
- склоткана сітка
- утеплювач з базальтового волокна $\lambda=0.045 \text{ Вт/(м·К)}$ $\gamma=150 \text{ кг/м}^3$ - 150мм
- клей для теплоізоляційних плит
- ґрунтовка - 1 шар
- монолітна з.б. стіна - 300мм
- цем.-піщана штукатурка - 10 мм

- зворотня засліпка
- фільтруючий шар геотекстилю
- шпигвидна дренажна мембрана - 8 мм
- теплоізоляція - екструдовані пінополістирольні плити (ЕППС) XPS щільн. 35кг/м³ на клею - 100мм
- гідроізоляція - шар руберойду на бітумному праймері 5* мм
- монолітна з.б. стіна - 300мм
- цем.-піщана штукатурка - 10...15 мм

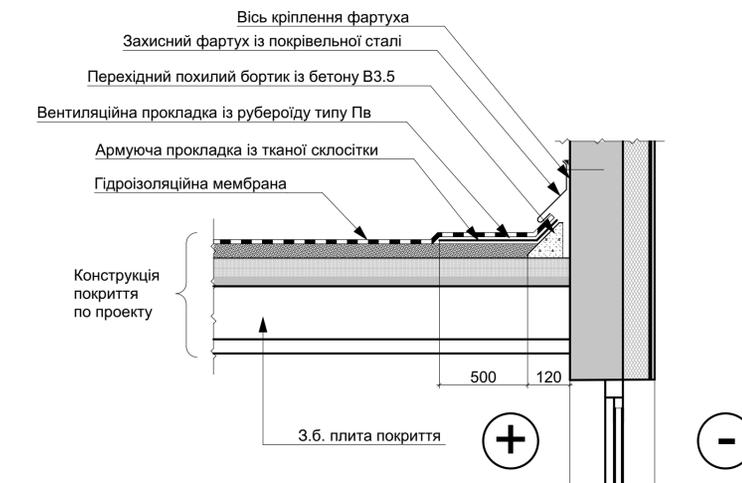
- декоративна штукатурка - 2 мм
- ґрунтована чуміш
- суха цементно-піщана суміш - 2,5 мм
- імпрегована склосітка - 0,5 мм
- суха цементно-піщана суміш - 3,0 мм
- полімерні дюбелі із сервечником з нержавіючої сталі
- пінополістирол - 200 мм
- суха цементно-піщана суміш - 5 мм
- декоративна штукатурка - 15 мм

- чистове опорядження підлоги - 20мм
- з/б стяжка
- гідроізоляційна плівка
- пароізоляційна плівка
- плита перекриття - 220мм
- піщана штукатурка - 20мм

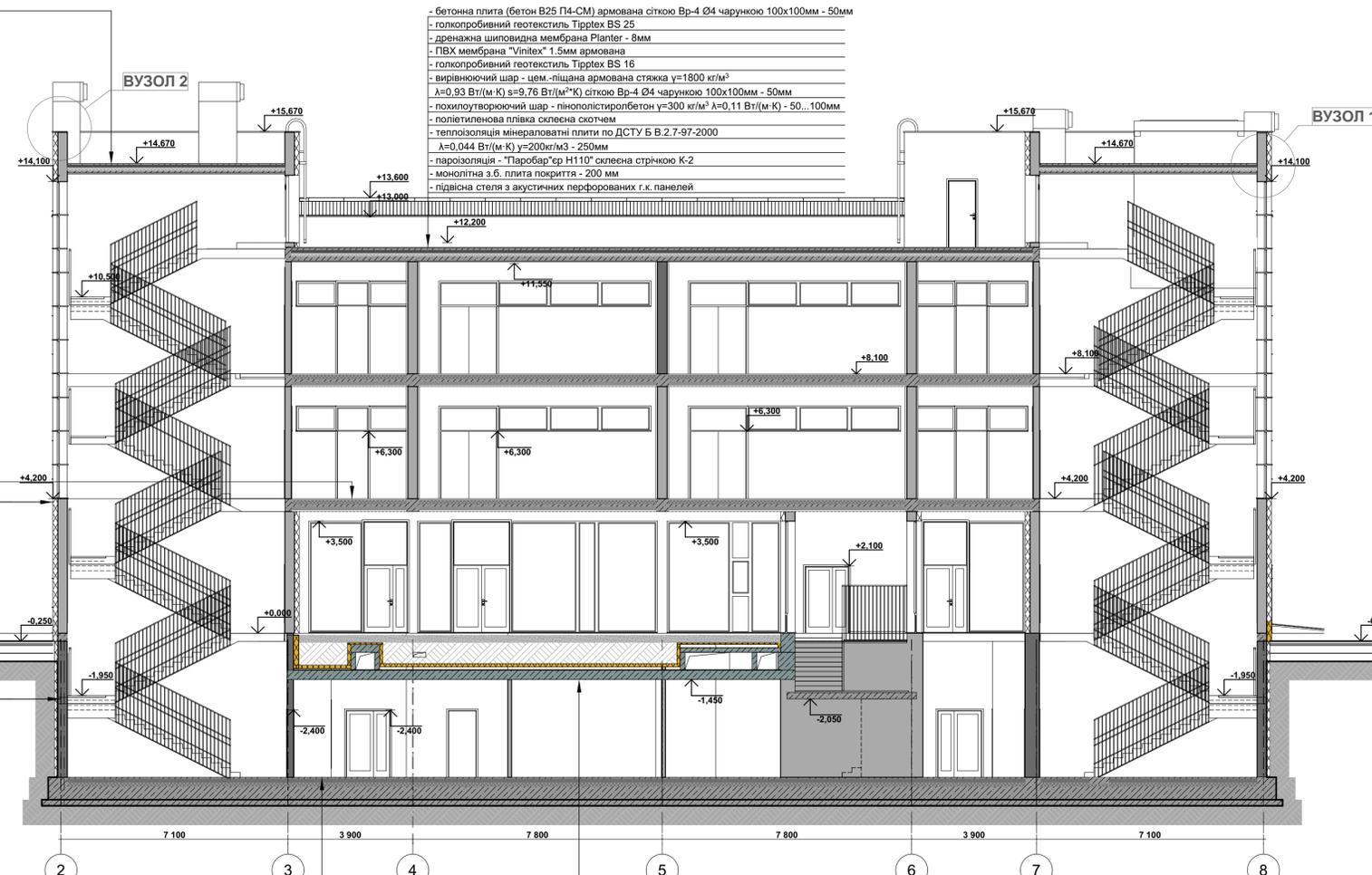
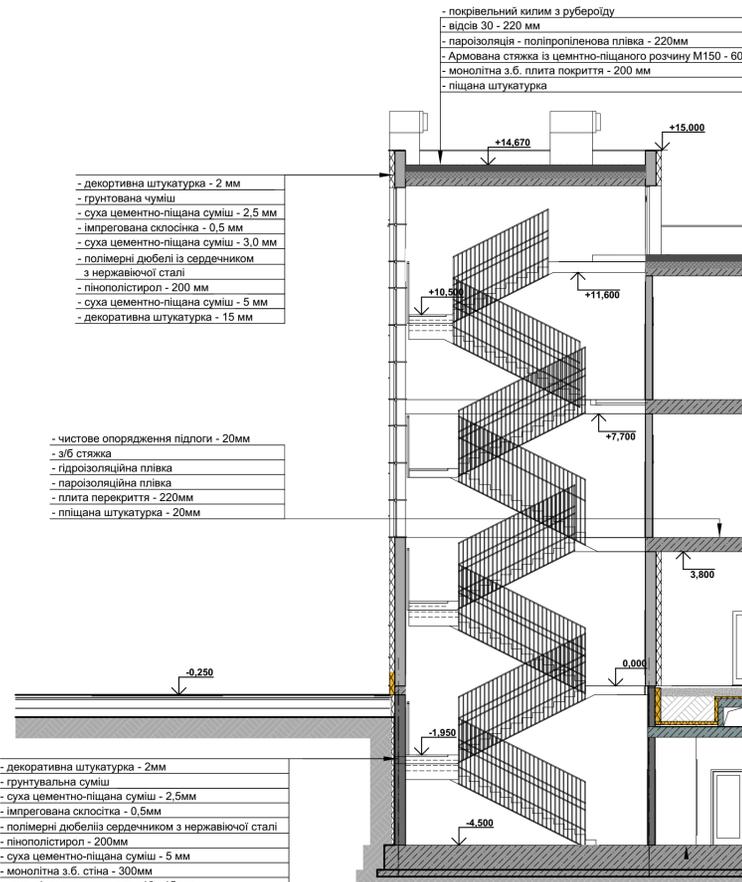
- декоративна штукатурка - 2мм
- ґрунтувальна суміш
- суха цементно-піщана суміш - 2,5мм
- імпрегована склосітка - 0,5мм
- полімерні дюбелі із сервечником з нержавіючої сталі
- пінополістирол - 200мм
- суха цементно-піщана суміш - 5 мм
- монолітна з.б. стіна - 300мм
- цем.-піщана штукатурка - 10...15 мм

- декоративна цегла
- армована штукатурка
- склоткана сітка
- утеплювач з базальтового волокна $\lambda=0.045 \text{ Вт/(м·К)}$ $\gamma=150 \text{ кг/м}^3$ - 150мм
- клей для теплоізоляційних плит
- ґрунтовка - 1 шар
- монолітна з.б. стіна - 300мм
- фасадний еластичний клей
- декоративна цегла

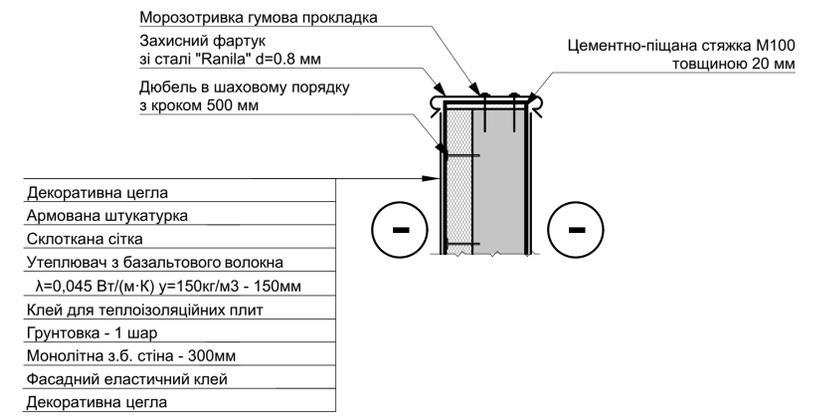
ВУЗОЛ 1 КОНСТРУКЦІЯ ПРИМИКАННЯ ПОКРІВЛІ ДО ПАРАПЕТУ М1:20



РОЗРІЗ 1-1 ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ М1:100



ВУЗОЛ 2 КОНСТРУКЦІЯ ПАРАПЕТУ М1:20



					08-11.МКР.015 - АР				
					Підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції				
					Ліцей		Стадія	Аркуш	Аркушів
Зм.	Кільк.	Архш.	№Арк.	Підпис	Дата	АР	14	17	
Розробила		Слюсар І.О.							
Перевірила		Бондар А.В.							
Корівник		Бондар А.В.							
Н. Контр.		Масельск І.В.							
Опонент		Панкевич О.Д.							
Затвердив		Швець В.В.							

Розрід 1-1 до та після реконструкції М1:100; Вузол 1 та Вузол 2 М1:20

ВНТУ, гр 1Б-24м

СХЕМА ОЗЕЛЕНЕННЯ ПОКРІВЛІ М1:100

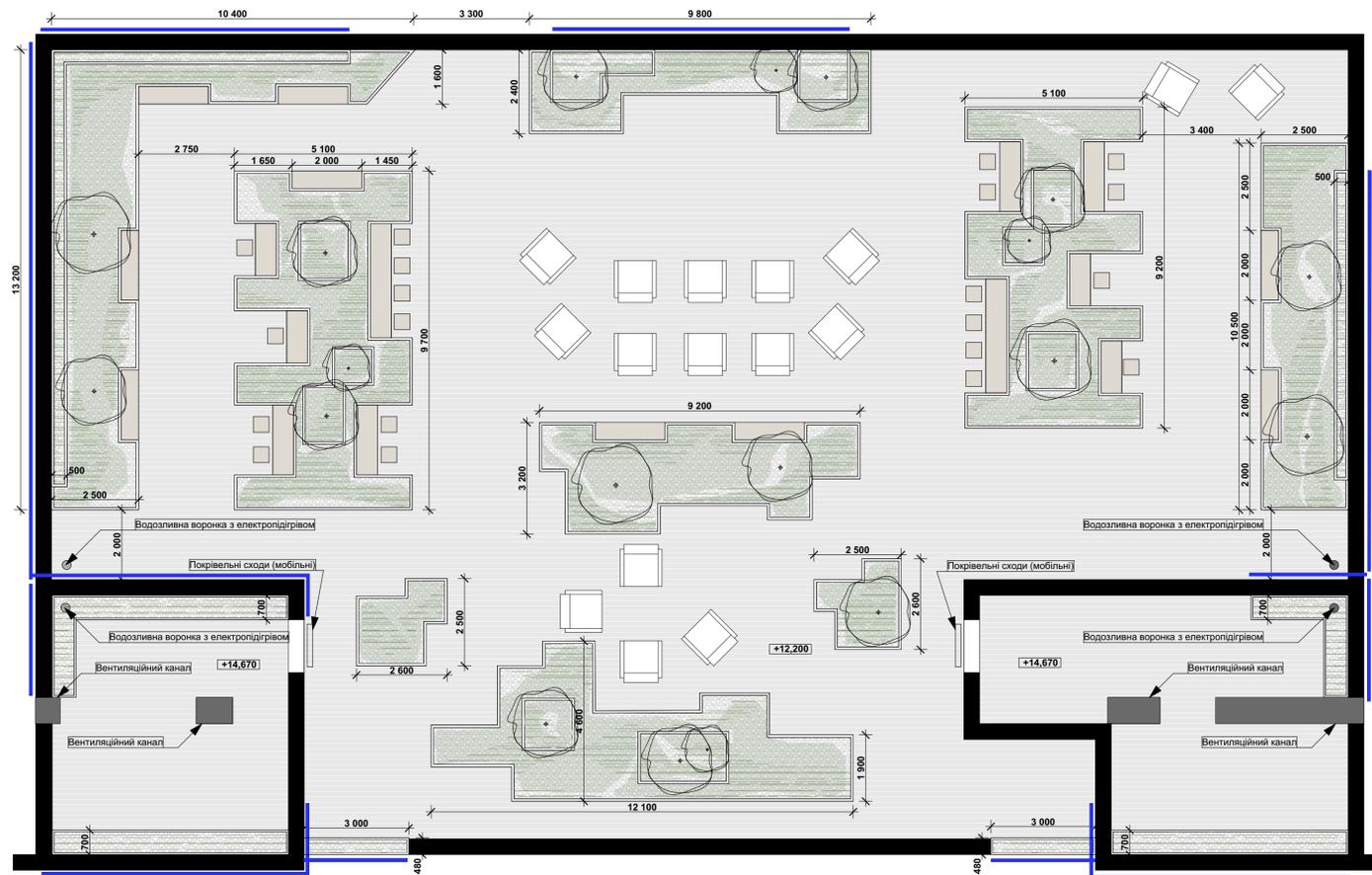


СХЕМА ПРИМИКАННЯ БЕТОННОГО КАШПО З РЕГУЛЬОВАНОЮ ПІДЛОГОЮ

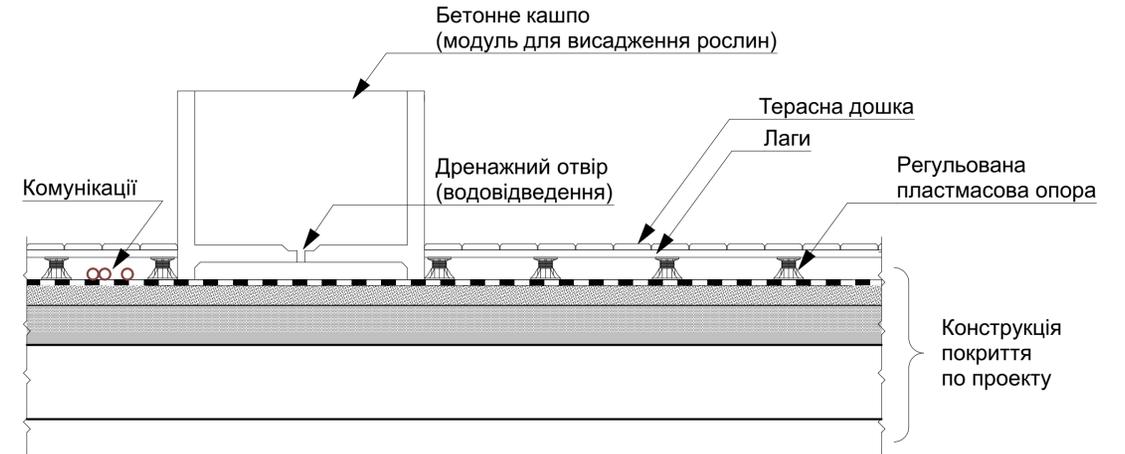


СХЕМА КОНСТРУКЦІЇ БЕТОННОГО КАШПО



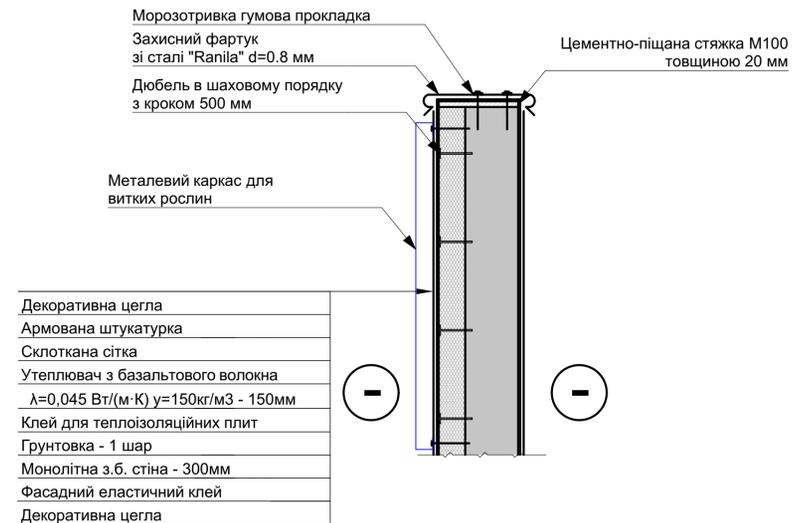
ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ОЗЕЛЕНЕННЯ ПОКРІВЛІ ТА ФАСАДІВ



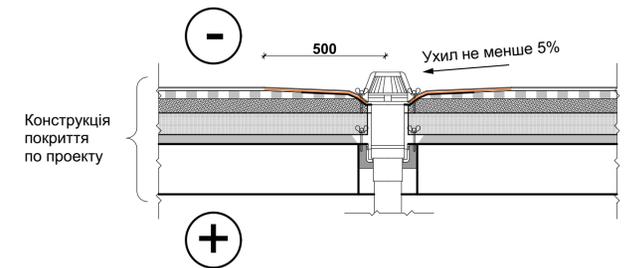
УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ:

- парпет
- терасна дошка
- металевий каркас для витких рослин (закріплені на фасадах будівлі)
- кашпо для рослин
- модуль для рослин
- кущ

ВУЗОЛ 3 ПРИМИКАННЯ МЕТАЛЕВОЇ СІТЧАСТОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДО ФАСАДУ ДЛЯ ВИТКИХ РОСЛИН М1:20



ВУЗОЛ 4 ФРАГМЕНТ ВЛАШТУВАННЯ ВОДОСТІЧНОЇ ВОРОНКИ М1:20



ПРИМІТКИ

1. За відносну відмітку взято рівень чистої підлоги +0,000.
2. Озеленення виконується у бетонних кашпо з вбудованим дренажним шаром. Дренаж забезпечує відведення надлишкової вологи від кореневої системи рослин до водостічних воронок покрівлі.
3. Стінки кашпо для витких рослин товщиною 50 см, для інших - 70 см. Висота кашпо для витких рослин 35 см, для кущів - 45 см, 50 та 60 см.
4. Керування системою поливу здійснюється автоматично за допомогою контролера, який регулює цикли поливу відповідно до встановлених параметрів (час доби, вологість ґрунту, температура повітря). Можливе ручне керування.
5. Всі з'єднання між інженерними елементами мають бути герметичними, а матеріали - стійкими до ультрафіолету, перепадів температур і вологості.
6. Усі комунації (системи автоматичного поливу, електроживлення, дренажні труби, тощо) прокладені під регульованою підлогою на лагах у технічному просторі.

08-11.МКР.015 - АР					
Підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції					
Зм.	Кільк.	Аркуш	№Арк.	Підпис	Дата
Розробила	Слюсар І.О.				
Перевірила	Бондар А.В.				
Корівник	Бондар А.В.				
Н. Контр.	Маєська І.В.				
Опонент	Панкевич О.Д.				
Затвердив	Швець В.В.				
Ліцей		Стадія	Аркуш	Аркушів	
		АР	15	17	
Схема озеленення покрівлі М1:100; Вузол 3 М1:20; Вузол 4 М1:20				ВНТУ, гр 1Б-24м	



**ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РЕКОНСТРУЙОВАНОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ
(ПОКРІВЛЯ ТА ФАСАДИ)**

						08-11.МКР.015 - АР			
						Підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції			
Зм.	Кільк.	Аркуш	№Бок.	Підпис	Дата	Ліцей	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробила	Слюсар І.О.						АР	17	17
Перевірила	Бондар А.В.								
Корвіник	Бондар А.В.								
Н. Контр.	Масвська І.В.					Візуалізація проєкту	ВНТУ, гр 1Б-24м		
ОпONENT	Панкевич О.Д.								
Затвердив	Шевць В.В.								

ВІДУК ОПОНЕНТА
на магістерську кваліфікаційну роботу

на тему: «Підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції»

здобувача Слюсар Ірини Олександрівни

Магістерська кваліфікаційна робота направлена на вирішення задачі екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції.

Робота складається з п'яти розділів пояснювальної записки та графічної частини. У першому розділі проаналізовано сучасні наукові та нормативні підходи до вибору екологічних рішень для реконструкції будівель. Другий розділ роботи містить дослідження параметрів екологічності будівлі навчального закладу. У третьому розділі проведено числове моделювання теплотехнічних, світлотехнічних та конструктивних характеристик будівлі, розроблено інтегральний індекс екологічності будівлі та оцінено ефективність трьох сценаріїв (до реконструкції, після термомодернізації та із застосуванням зеленої оболонки). Технічна частина роботи містить опис рішень генерального плану, архітектурно-будівельні рішення, організаційно-технологічні рішення, технологію виконання робіт. У п'ятому розділі роботи проведена оцінка економічної ефективності проектних рішень з застосуванням зеленого фасаду та зеленої покрівлі.

Результати магістерської роботи показують, що Слюсар І. О. має достатньо високий рівень підготовки при прийнятті сучасних науково-технічних рішень, уміння застосовувати сучасні програмні комплекси для моделювання та підвищення екологічності будівель навчальних закладів, шляхом впровадження зелених покрівель та фасадів. Результати досліджень можуть бути використані для реконструкції навчальних закладів спрямованої на зменшення техногенного навантаження, раціональне використання ресурсів та створення здорового освітнього середовища.

МКР виконана у відповідності до завдання та чинних вимог, самостійно та в повному обсязі.

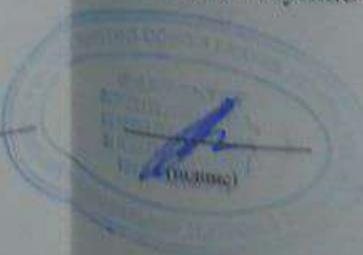
Недоліки роботи:

- варто було б в другому розділі більш широко та ґрунтовно представити експериментальну частину роботи;
- у роботі відсутній теплотехнічний розрахунок зовнішніх огорожуючих конструкцій після проведення озеленення покрівлі і фасадів.

В цілому магістрант Слюсар І. О. відповідає вимогам освітньо-професійної програми «Промислове та цивільне будівництво», спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія» та гідна присвоєння освітнього ступеня «магістр», а робота заслуговує оцінки А «відмінно».

Допент кафедри ІСБ, к.т.н., доцент

(посади, науковий ступінь, іменне звання)



Панкевич О. Д.

(позвали, прізвище)

ІІ ПІ
ІІІ ПІ
ІІІІ ПІ
ІІІІІ ПІ
А КВА
на
ЧНО
І ІХ
ала: сту
спе
та ци
к.т.н.
я 2025 р
т.н., до
Па
і 2025 р.

ВІДГУК

керівника магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: «ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬ НАВЧАЛЬНИХ
ЗАКЛАДІВ ПРИ ЇХ РЕКОНСТРУКЦІЇ»

здобувача групи ІБ-24М Слюсар Ірини Олександрівни

Магістерська кваліфікаційна робота є актуальною і присвячена важливим питанням підвищення екологічності будівель навчальних закладів при їх реконструкції.

У процесі виконання здобувач Слюсар Ірина успішно застосовувала програмні комплекси для обробки аналітичного та графічного матеріалу, виявила знання нормативної та законодавчої бази і галузі будівництва та екології. У підготовці роботи проявила ерудицію та наполегливість. Самостійно, базуючись на сучасних нормативних вимогах, провела серію натурних вимірювань параметрів мікроклімату, шумового фону та освітленості; розробила інтегральний індекс екологічності будівлі; провела порівняння трьох сценаріїв: до реконструкції, після традиційної термомодернізації та при застосуванні зеленої оболонки, що показало досягнення ефекту підвищення екологічності будівлі. Тому, тема роботи актуальна і відповідає науковим напрямкам кафедри будівництва, міського господарства та архітектури.

Здобувачка чітко дотримувалась графіку виконання магістерської кваліфікаційної роботи, вчасно представила роботу на попередньому захисті.

Результати досліджень представлені у магістерській кваліфікаційній роботі апробовані на Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2025», яка відбулася у ВНТУ 19-21 листопада 2025 року. Магістерська робота повністю відповідає встановленим методичним вимогам щодо змісту, структури та оформлення.

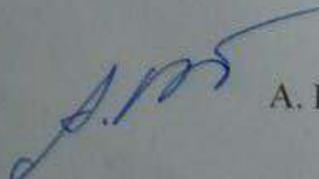
У магістерській кваліфікаційній роботі наявні такі недоліки:

- наявні незначні недоліки в оформленні деяких конструктивних креслень на аркушах графічної частини;
- не достатньо пророблено розрахунок конструктивної роботи покрівлі після озеленення.

Проте вказані недоліки не впливають на позитивне враження від роботи.

Висновки: якість підготовки здобувача Слюсар Ірини Олександрівни відповідає вимогам освітньої програми підготовки «Промислове та цивільне будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія», галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» і при відповідному захисті заслуговує присвоєння ступеня магістра та на оцінку «А» 95 балів.

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи, к.т.н., доцент


А. В. Бондар