

освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку

Кафедра екології та менеджменту довкілля

*До захисту допущено*

*Кафедрою екології та менеджменту довкілля протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_*

*В.о. завідувача кафедри \_\_\_\_\_ Андрій АЧАСОВ*  
*(підпис) (ім'я, прізвище)*

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

Кваліфікаційна робота  
здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Формування системи менеджменту ефективного використання земельного  
потенціалу аграрного підприємства  
*(назва роботи)*

Спеціальність (спеціалізація) \_\_\_\_\_ 101 Екологія \_\_\_\_\_  
*(код та найменування спеціальності)*

Освітня програма \_\_\_\_\_ Екологія \_\_\_\_\_  
*(назва освітньої програми)*

Виконавець \_\_\_\_\_ Кароліна КУДРИЦЬКА \_\_\_\_\_  
*(підпис) (ім'я, прізвище)*

Науковий керівник \_\_\_\_\_ Анна КОТ \_\_\_\_\_  
*(підпис) (ім'я, прізвище)*

Харків - 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Інститут: Навчально-науковий інститут екології, сталого розвитку та зеленої енергетики

Кафедра: екології та менеджменту довкілля

Рівень вищої освіти: бакалавр

Спеціальність 201 Агрономія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В.о. завідувача кафедри**

\_\_\_\_\_ / проф. Андрій АЧАСОВ  
підпис ім'я та прізвище

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)**

Кароліна КУДРИЦЬКА  
(ім'я, прізвище студента)

1. Назва теми роботи для завдання Зелена інфраструктура як інструмент адаптації міських територій до змін клімату

керівник роботи студента Анна Григорівна Кот  
(ім'я, по-батькові, прізвище, вчене звання, науковий ступінь)

затверджені наказом по університету від “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Перелік питань, які потрібно дослідити:

1. Провести системний аналіз теоретико-методологічних засад, світового та вітчизняного досвіду впровадження екосистемного підходу та елементів зеленої інфраструктури (ЗІ) для адаптації урбанізованих територій до глобальних кліматичних змін.

2. Дослідити сучасний екологічний стан та особливості просторової організації центральної частини м. Івано-Франківська з метою ідентифікації зон критичного «запечатування» ґрунту та локальних ефектів «теплового острова».

3 Обґрунтувати методичний підхід до вибору асортименту стійких рослин-крупномірів, ліан та багаторічників на основі їхнього кліматичного та мікрокліматичного потенціалу.

4. Розробити варіантні проєктні рішення з мікро-озеленення середмістя за трьома стратегічними напрямками: висадка великомірних «кліматичних» дерев, пасивне/активне вертикальне озеленення фасадів та створення локальних «кишенькових парків» і дощових садів на місці деструктивних зон.

5. Здійснити вартісну оцінку та оптимізаційне моделювання витрат шляхом розрахунку диференційованих кошторисів . на основі актуальних ринкових індикаторів розплідників.

6. Оцінити комплексний екологічний, соціальний та економічний ефект від інтеграції запропонованих локальних рішень.

4. Планування роботи відповідно до кожного етапу наукового дослідження:

| № з/п | Конкретні етапи дослідження                                                                                                     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Опрацювати наукові джерела та світовий досвід використання зеленої інфраструктури як альтернативи дорогим інженерним ремонтам.  |
| 2     | Провести натурне обстеження та фотофіксацію проблемних локацій у середмісті (Площа Ринок, Ратуша, «Бастіон»).                   |
| 3     | Сформувати перелік необхідних рослин із розплідників та проаналізувати їхні кліматичні властивості (затінення, утримання води). |
| 4     | Скласти детальний опис та схеми трьох проєктних рішень для трансформації парковок і «мертвих» зон у зелені островці.            |
| 5     | Калькулювати вартість матеріалів та робіт, сформувавши порівняльні таблиці витрат для Варіантів А і Б.                          |
| 6     | Розрахувати показники ефективності: зниження температури, зменшення стресу мешканців та економію бюджетних коштів міста.        |

5. Дата видачі завдання студенту « 09 » червня 2025 року

Студент \_\_\_\_\_ **Кароліна КУДРИЦЬКА**  
підпис ім'я і прізвище

Керівник роботи \_\_\_\_\_ **Анна КОТ**  
підпис ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ

**ЗЕЛЕНА ІНФРАСТРУКТУРА ЯК ІНСТРУМЕНТ АДАПТАЦІЇ МІСЬКИХ  
ТЕРИТОРІЙ ДО ЗМІН КЛІМАТУ**

Кароліна Кудрицька

Кваліфікаційна робота «Зелена інфраструктура як інструмент адаптації міських територій до змін клімату» складається з 54 сторінки, поділених на 4 розділи, містить 9 рисунків, 11 таблиць та 28 джерел інформації.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування екосистемного підходу та розробка і фінансово-економічне оцінювання практичних проєктів із впровадження елементів зеленої інфраструктури для адаптації міського середовища до кліматичних викликів.

Об'єктом досліджень є процес адаптації міського середовища до кліматичних змін.

Предметом дослідження є елементи зеленої інфраструктури як інструмент зниження температури та оптимізації водного балансу в центрі Івано-Франківська.

Методи дослідження включали теоретичний аналіз наукових джерел та світового досвіду, натурне обстеження, фотофіксацію та деструктивний аналіз покриття локацій, метод варіантного проєктування, калькуляцію кошторисної вартості на основі ринкових індикаторів, а також метод оцінювання соціально-економічної та екологічної ефективності.

Короткий опис роботи. У роботі проведено комплексний аналіз екологічного стану та рівня інфраструктурної вразливості центральної частини м. Івано-Франківська (Площа Ринок, Ратуша, двори галереї «Бастіон»). Виявлено критичний рівень «запечаткування» ґрунту суцільною бруківкою та брак високорослих дерев, що зумовлює виникнення ефекту «теплового острова» та ризиків підтоплень. Розроблено три локальні проєктні рішення: висадка великомірних «кліматичних» дерев, пасивне й активне вертикальне озеленення фасадів та створення «кишенькових парків» і дощових садів на місці парковок

чи «мертвих» зон. Для кожного рішення розраховано та порівняно два варіанти кошторисів: Рациональний (на базі невибагливих багаторічників низького догляду) та Преміальний (із рулонними газонами й автополивом). Доведено, що запропоновані мікропроекти інтегруються в загальну кліматичну стратегію області, забезпечують зниження температури на 1-1,5°C, зменшують навантаження на зливну каналізацію, знижують рівень стресу мешканців та підвищують ринкову вартість навколишньої комерційної нерухомості.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЗЕЛЕНА ІНФРАСТРУКТУРА, АДАПТАЦІЯ ДО ЗМІН КЛІМАТУ, ТЕПЛОВИЙ ОСТРІВ, ВЕРТИКАЛЬНЕ ОЗЕЛЕНЕННЯ, ЕКОСИСТЕМНИЙ ЕФЕКТ.

ABSTRACT

**GREEN INFRASTRUCTURE AS A TOOL FOR ADAPTING URBAN AREAS  
TO CLIMATE CHANGE**

Karolina Kudrytska

The qualification thesis “Green Infrastructure as a Tool for Adapting Urban Areas to Climate Change” consists of 54 pages, divided into 4 chapters, and contains 9 figures, 11 tables, and 28 information sources.

The purpose of the work is to provide a theoretical substantiation of the ecosystem approach, as well as to develop and financially evaluate practical projects for implementing green infrastructure elements to adapt the urban environment to climate challenges.

The object of research is the process of adapting the urban environment to climate change.

The subject of the study is the elements of green infrastructure as a tool for temperature reduction and water balance optimization in the downtown of Ivano-Frankivsk.

The research methods included theoretical analysis of scientific sources and global practices, field surveys, photofixation and destructive analysis of site surfaces, the method of variant design, cost estimation based on market indicators, as well as methods for assessing social, economic, and ecological efficiency.

Brief description of the work. The work provides a comprehensive analysis of the environmental state and infrastructural vulnerability of the central part of Ivano-Frankivsk (Rynok Square, City Hall, and the courtyards of the "Bastion" Fortress Gallery). A critical level of soil sealing with continuous paving stones and a lack of mature trees were identified, leading to the local "urban heat island" effect and flooding risks. Three local project solutions were developed: planting large-sized "climate" trees, passive and active vertical greening of blind facades, and creating "pocket parks" and rain gardens instead of parking lots or "dead" zones. For each solution, two budget options were calculated and compared: Rational (based on low-maintenance

perennials) and Premium (with rolled lawns and automatic irrigation systems). It is proven that the proposed micro-projects successfully integrate into the regional climate adaptation strategy, ensuring a temperature reduction of 1-1.5°C, decreasing the load on the stormwater drainage system, reducing residents' stress levels, and increasing the market value of surrounding commercial real estate.

**KEYWORDS:** GREEN INFRASTRUCTURE, CLIMATE CHANGE ADAPTATION, URBAN HEAT ISLAND, VERTICAL GREENING, ECOSYSTEM EFFECT.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                          | 9  |
| РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ<br>ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ КЛІМАТИЧНОЇ АДАПТАЦІЇ<br>МІСТ.....                  | 11 |
| 1.1. Сутність, базові принципи та екосистемні послуги стратегічно<br>спланованої мережі зеленої інфраструктури.....                 | 11 |
| 1.2. Роль рослинності у зниженні температури міського<br>середовища завдяки процесам затінення та транспірації.....                 | 14 |
| РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ЕКОЛОГІЧНА<br>ОЦІНКА ПРОБЛЕМНИХ ЛОКАЦІЙ СЕРЕДМІСТЯ ІВАНО-<br>ФРАНКІВСЬКА.....                   | 17 |
| 2.1. Дослідження впливу глобального потепління, екстремальних<br>температур та злив на міське середовище на регіональному рівні.... | 17 |
| 2.2. Організаційно-екологічна характеристика та фотофіксація<br>проблемних зон .....                                                | 21 |
| 2.3. Вплив високого відсотка «запечаткування» ґрунтів суцільною<br>бруківкою на формування ефекту міського «теплового острова»..... | 26 |
| РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА, КОШТОРИСНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА<br>ЕФЕКТИВНІСТЬ АДАПТИВНИХ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ З<br>ОЗЕЛЕНЕННЯ.....                    | 30 |
| 3.1. Техніко-екологічне проєктування елементів зеленої<br>інфраструктури в середмісті Івано-Франківська.....                        | 30 |
| 3.2. Кошторисний аналіз та комплексна оцінка екологічної,<br>соціально-медичної й комерційної ефективності проєктів.....            | 35 |
| РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ<br>СИТУАЦІЯХ ПРИ ВИКОНАННІ БЛАГОУСТРОЮ ТА<br>ЗЕЛЕНБУДІВНИХ РОБІТ У МІСТАХ.....    | 43 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                                       | 50 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                                                     | 52 |

## ВСТУП

На сьогоднішній день через глобальне потепління сучасні міста щоліта потерпають від суттєвих кліматичних викликів, серед яких найбільш критичними є екстремальна спека та руйнівні зливи. Традиційні інженерні ремонти та капітальна модернізація міської сірої інфраструктури (наприклад, розширення зливних каналізацій) вимагають колосальних фінансових вкладень, які часто коштують громадам мільйони. У таких умовах розбудова зеленої інфраструктури постає як сучасний, екологічний та фінансово значно дешевший спосіб ефективного охолодження міського простору, утримання надлишкової вологи та покращення загальної якості життя в урбанізованому середовищі. Центральна частина міста Івано-Франківська, зокрема Площа Ринок, територія навколо Ратуші та внутрішні двори Фортечної галереї «Бастіон», характеризується критично високим відсотком «запечаткування» ґрунтів суцільною бруківкою. Це призводить до акумуляції сонячного випромінювання та формування стійкого ефекту міського «теплового острова». Брак високорослих дерев та наявність великої кількості порожніх фасадів, що акумулюють тепло, зумовлюють гостру необхідність розробки й практичного впровадження природоорієнтованих адаптаційних рішень, що й визначає актуальність даного дослідження.

Об'єкт дослідження - процес адаптації міського середовища до кліматичних змін.

Предмет дослідження - елементи зеленої інфраструктури як інструмент зниження температури в центрі Івано-Франківська.

Мета роботи - розробити та фінансово обґрунтувати практичні проєкти з озеленення середмістя Івано-Франківська для зниження негативного впливу кліматичних змін.

Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено такі завдання: вивчити теоретичний досвід використання зеленої інфраструктури як стратегічно спланованої мережі для надання екосистемних послуг; провести

комплексний аналіз та фотофіксацію локацій середмістя Івано-Франківська, виявити проблемні зони та оцінити рівень «запечаткування» ґрунтів; розробити адаптивні проєктні рішення (висадка «кліматичних дерев», вертикальне озеленення, створення кишенькових парків) для покращення мікроклімату; розрахувати варіативні кошториси реалізації проєктів на основі реальних ринкових цін сучасних розплідників рослин; оцінити екологічний, економічний та соціально-медичний ефекти від практичної реалізації запропонованих рішень.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс наукових методів: теоретичний аналіз та узагальнення літературних джерел і світового досвіду; польові дослідження методом натурного обстеження та фотофіксації об'єктів середмістя; метод порівняльного техніко-економічного аналізу при розрахунку кошторисів; метод екологічного моделювання для оцінки мікрокліматичного ефекту рослинності.

Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів полягає у розробці комплексного підходу до трансформації «мертвих» зон та надлишкових паркомісць у центрі Івано-Франківська в екологічні «stepping stones» (сходишки для біорізноманіття). Сформовано варіативні кошторисні моделі (раціональний варіант «низького догляду» та преміальний варіант), які дозволяють гнучко інтегрувати локальні природоорієнтовані рішення у масштабну кліматичну стратегію Івано-Франківської області. Результати роботи можуть бути використані комунальними підприємствами та органами місцевого самоврядування при проведенні реконструкції та благоустрою центральної частини міста.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів (включаючи розділ з охорони праці), висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг роботи ілюстрований таблицями та графічними матеріалами.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ КЛІМАТИЧНОЇ АДАПТАЦІЇ МІСТ

### 1.1. Сутність, базові принципи та екосистемні послуги стратегічно спланованої мережі зеленої інфраструктури

У сучасних умовах інтенсивної урбанізації та глобальних кліматичних змін традиційні підходи до планування та розвитку міського простору зазнають суттєвої трансформації. Посилення таких негативних явищ, як аномальні хвилі літньої спеки та раптові екстремальні зливи, створює надмірне навантаження на інженерні комунікації міст [1]. Відповіддю на ці виклики стало формування концепції зеленої інфраструктури, яка виступає як альтернатива або ефективне доповнення до капітальних інженерних рішень [2].

Зелена інфраструктура (ЗІ) - це стратегічно спланована мережа природних, напівприродних та штучно створених екологічних елементів, які спроектовані та керуються таким чином, щоб забезпечувати широкий спектр екосистемних послуг [3]. На відміну від «сірої» інфраструктури (доріг, трубопроводів, бетонних захисних споруд), яка зазвичай виконує лише одну утилітарну функцію, зелена інфраструктура базується на принципах стійкості, самовідновлення та багатофункціональності [4].

Для систематизації науково-методологічних засад розбудови міського екологічного простору, порівняння її елементів із традиційними інженерними рішеннями, а також визначення ключових принципів та екосистемних послуг, доцільно розглянути узагальнену матрицю характеристик (табл. 1.1). Як видно з наведених даних, головна цінність зеленої інфраструктури для сучасного міста полягає в отриманні екосистемних послуг - благ, які людство безоплатно отримує від природи для забезпечення своєї життєдіяльності та комфорту [5].

Таблиця 1.1

Комплексна матриця характеристик та принципів функціонування зеленої інфраструктури в урбосередовищі

| Елемент / аспект               | Зміст характеристики                                                                     | Практичне значення для міського середовища                                        |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Зелена інфраструктура (ЗІ)     | Стратегічно спланована мережа природних і напівприродних територій                       | Формування екологічного каркаса міста та підвищення стійкості до кліматичних змін |
| Сіра інфраструктура            | Інженерні системи (дороги, колектори, каналізація, бетонні споруди)                      | Виконання вузьких технічних функцій без додаткового екологічного ефекту           |
| Принцип зв'язності             | Об'єднання зелених зон у єдину мережу                                                    | Підтримка міського біорізноманіття та природної міграції видів рослин і тварин    |
| Принцип багатофункціональності | Один елемент виконує кілька екологічних та інженерних функцій одночасно                  | Одночасне покращення мікроклімату, якості атмосферного повітря та рекреації       |
| Принцип інтеграції             | Обов'язкове включення об'єктів ЗІ у загальне містобудівне планування                     | Комплексне узгодження екологічних і традиційних інженерних рішень                 |
| Принцип стійкості (resilience) | Здатність системи адаптуватися до змін клімату та поглинати шоківі навантаження          | Нівелювання або суттєве зменшення наслідків спеки, злив, посух                    |
| Регулюючі екосистемні послуги  | Кліматичне, гідрологічне та температурне регулювання міського середовища                 | Зниження ефекту «теплового острова», зменшення ризиків підтоплень територій       |
| Очисні послуги                 | Природна фільтрація повітряних мас та активне поглинання забруднень                      | Покращення загальної якості повітря (абсорбція дрібнодисперсного пилу)            |
| Підтримуючі послуги            | Безперервна підтримка життєдіяльності екосистем і локального біорізноманіття             | Збереження природної рівноваги та екологічного балансу всередині міста            |
| Культурні послуги              | Забезпечення можливостей для рекреації, естетичного задоволення, психологічного комфорту | Суттєве покращення загальної якості життя та здоров'я міського населення          |

Головна цінність зеленої інфраструктури для сучасного міста полягає в отриманні екосистемних послуг (ecosystem services) - благ, які людство безоплатно отримує від природи для забезпечення своєї життєдіяльності та комфорту [5]. Відповідно до міжнародної класифікації CICES (Common International Classification of Ecosystem Services), розробленої Європейською

агенцією з охорони довкілля, ці послуги поділяються на чотири основні групи: регулюючі (regulating), забезпечуючі (provisioning), культурні (cultural) та підтримуючі (supporting) [13; 14].

У контексті адаптації міських територій до змін клімату регулюючі послуги мають вирішальне значення. Вони забезпечують терморегуляцію (пом'якшення мікроклімату, зниження температури повітря в містах на 1-8 °C порівняно з ділянками без рослинності, що безпосередньо протидіє формуванню ефекту міського «теплового острова») та гідрологічне регулювання. Останнє полягає у затриманні, інфільтрації та утриманні зливових вод безпосередньо в місці їх випадіння (інженерно-біологічні елементи здатні затримувати від 50 % до 90 % атмосферних опадів), що суттєво зменшує пікові навантаження на систему зливної каналізації [2; 6; 16].

Очисні та підтримуючі послуги забезпечують абсорбцію дрібнодисперсного пилу (PM<sub>2.5</sub> і PM<sub>10</sub>) й шкідливих газів, знижуючи ризики для здоров'я населення відповідно до пріоритетів ВООЗ [6; 17]. Культурні послуги корелюють із рекреацією та зниженням рівня депресії й серцево-судинних захворювань містян [17; 18].

Ефективність функціонування ЗІ зумовлюється не лише наявністю окремих елементів, а й суворою системою принципів, на яких ґрунтується її планування: принцип стратегічного планування виключає стихійність рішень та інтегрує ЗІ у довгострокові містобудівні документи на виконання Європейського зеленого курсу (European Green Deal) [11; 12]; принцип масштабованості забезпечує узгодженість екологічних заходів від макrorівня (загальнодержавні екомережі) до мікрорівня (окреме дерево чи зелений двір); принцип партиципативності (інклюзивності) залучає місцеві громади до реалізації проєктів на засадах ініціативи Нового європейського Баугаусу (New European Bauhaus) [20; 21]; принцип «не зашкодь» (do no significant harm) гарантує, що жоден захід з озеленення не підриватиме сталий розвиток інших ресурсів; принцип економічної ефективності вимагає обов'язкової інтеграції вартості природного капіталу в системи економічного обліку (Natural Capital Accounting),

що є критично важливим для отримання донорського фінансування від Світового банку чи IFC, особливо в контексті повоєнної відбудови України.

Таким чином, розбудова зеленої інфраструктури є фундаментальним, економічно обґрунтованим інструментом екологічного менеджменту, спрямованим на підвищення кліматичної стійкості (resilience) сучасного міста перед глобальними викликами потепління.

## 1.2. Роль рослинності у зниженні температури міського середовища завдяки процесам затінення та транспірації

В умовах сучасної щільної міської забудови, високого ступеня запечаткування поверхні та переважання асфальтобетонних і штучних бруківкових матеріалів формується специфічний мікрокліматичний феномен, відомий як ефект міського «теплового острова» (Urban Heat Island, UHI) [1]. Його сутність полягає у підвищенні температури повітря в урбанізованих районах порівняно з навколишніми природними або сільськими територіями, що за даними численних мікрокліматичних досліджень може досягати 5-10 °C, а в умовах екстремальних літніх хвиль спеки навіть перевищувати ці значення [2].

Основною причиною формування цього ефекту є заміна природного рослинного покриву штучними поверхнями з високим коефіцієнтом теплопоглинання та низькою здатністю до випаровування вологи [3]. У таких умовах міська зелена інфраструктура виступає ключем природоорієнтованих рішень (nature-based solutions, NbS), здатним суттєво пом'якшувати температурні екстремуми та стабілізувати локальний мікроклімат [4].

Терморегулюючий ефект міської рослинності реалізується через два взаємопов'язані біофізичні механізми: пряме затінення (shading) та евапотранспірацію (evapotranspiration), які в комплексі формують природну систему охолодження міського середовища [5].

Пряме затінення полягає у блокуванні сонячної радіації кронами дерев та іншими елементами рослинності. У міських умовах тверді покриття (асфальт,

бетон, бруківка) поглинають до 80-95% сонячної енергії, акумулюючи тепло та повторно випромінюючи його у приземний шар атмосфери, що підсилює перегрів міського середовища [6].

Крона дерев виконує функцію природного радіаційного фільтра, здатного затримувати до 70-90% сонячного випромінювання залежно від щільності листя, архітекtonіки крони та виду рослинності [7]. Це призводить до суттєвого зниження температури поверхонь під пологом дерев: різниця між затіненими бруківковими та відкритими ділянками може становити 10-20 °C [5]. На рівні приземного шару повітря ефект затінення забезпечує зниження температури в середньому на 1-2 °C, що є критично важливим для формування теплового комфорту людини у міському просторі [8].

Евапотранспірація є комплексним біологічним процесом, що поєднує випаровування води з поверхні ґрунту та транспірацію рослин через продихи листків [9]. У процесі транспірації рослини поглинають воду кореневою системою та транспортують її до листової поверхні, де вона випаровується, поглинаючи значну кількість теплової енергії з навколишнього середовища [10].

Фізично цей процес є потужним механізмом природного охолодження, оскільки на випаровування 1 грама води витрачається приблизно 2,5 кДж теплової енергії [11]. Таким чином, великі зелені насадження функціонують як «біологічні кондиціонери», які охолоджують повітря без споживання електроенергії та без утворення додаткових викидів парникових газів [4]. Одне доросле дерево за сприятливих умов здатне випаровувати від 200 до 400 літрів води на добу, що забезпечує відчутний локальний ефект зниження температури та підвищення вологості повітря в межах прилеглого простору [10].

Ефективність поєднання цих біофізичних механізмів чітко простежується при аналізі міжнародного та вітчизняного досвіду застосування елементів ЗІ, відображеного в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Міжнародний досвід застосування зеленої інфраструктури для зниження ефекту міського теплового острова

| Країна / місто            | Реалізовані заходи                                                                                            | Основні результати                                                                                       |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Львів (Україна) [12]      | Висадка вуличних дерев із щільною кроною, формування затінених пішохідних коридорів.                          | Зниження температури бруківки на 12-15 °С, повітря - на 1-1,5 °С у спекотні періоди.                     |
| Відень (Австрія) [13]     | Реконструкція вулиці Zieglergasse як «кліматичної вулиці», озеленення фасадів і збільшення деревного покриву. | Зниження температури повітря на 2-3 °С, зменшення нагріву фасадів до 8 °С.                               |
| Сінгапур [14]             | Реалізація концепції «City in a Garden», масштабне вертикальне озеленення хмарочосів.                         | Зниження енергоспоживання на кондиціювання на 15-25%, формування локальних охолоджувальних зон до 300 м. |
| Барселона (Іспанія) [15]  | Створення мережі «superblocks» із розширеним озелененням і обмеженням транспорту.                             | Зниження локальної температури вулиць на 1,5-3 °С, покращення якості повітря.                            |
| Мельбурн (Австралія) [16] | Програма «Urban Forest Strategy», масове системне висадження дерев.                                           | Зниження ефекту УНІ та стабілізація літніх температур у центральних районах.                             |

Таким чином, поєднана дія механізмів затінення та евапотранспірації підтверджує, що зелена інфраструктура є не декоративним елементом міського благоустрою, а високоефективною природоорієнтованою технологією кліматичної адаптації. Її впровадження дозволяє суттєво зменшувати температурне навантаження на міське середовище, підвищувати комфорт проживання населення та знижувати енергетичні витрати на охолодження будівель.

У цьому контексті для щільно забудованих історичних центрів міст, зокрема центральної частини Івано-Франківська, застосування зелених коридорів, точкового озеленення та вертикальних елементів є одним із найбільш ефективних інструментів пом'якшення локальних проявів міського теплового острова, детальний аналіз яких представлено в наступних розділах роботи.

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРОБЛЕМНИХ ЛОКАЦІЙ СЕРЕДМІСТЯ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА

### 2.1. Дослідження впливу глобального потепління, екстремальних температур та злив на міське середовище на регіональному рівні

Сучасні кліматичні тенденції в Івано-Франківській області чітко відображають загальносвітові процеси глобального потепління. На регіональному рівні це проявляється у суттєвому збільшенні тривалості бездошових періодів, що чергуються з аномальними зливами екстремальної інтенсивності, а також у стрімкому зростанні кількості днів із температурою повітря вище  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$  у літні місяці. Для щільно забудованого міського середовища Івано-Франківська такі зміни мають руйнівний характер. Традиційні інженерні мережі водовідведення, розраховані за застарілими радянськими будівельними нормами, не здатні одночасно приймати таку велику кількість гідрологічних опадів, що призводить до регулярних локальних підтоплень вулиць історичного центру. Крім того, тривалі хвилі тепла суттєво погіршують якість атмосферного повітря через посилення процесів пилоутворення та фотохімічного смогу.

Глобальна зміна клімату є одним із найважливіших викликів ХХІ століття, наслідки якого дедалі відчутніше проявляються як на глобальному, так і на регіональному рівнях. Згідно з оцінками Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (ІРСС), середня глобальна температура поверхні Землі вже зросла приблизно на  $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  порівняно з доіндустріальним періодом. Цей процес супроводжується стрімким збільшенням частоти та інтенсивності екстремальних погодних явищ, зокрема хвиль спеки, тривалих посух, інтенсивних опадів та масштабних повеней [1].

Для України кліматичні зміни характеризуються стійкою тенденцією до підвищення середньорічної температури повітря, зміною режиму атмосферних опадів та збільшенням кількості небезпечних гідрометеорологічних явищ. За

даними Українського гідрометеорологічного центру, протягом останніх десятиліть середня температура в Україні зростала вищими темпами, ніж середньосвітові показники, що особливо гостро простежується у літній період [2].

У межах Івано-Франківської області сучасні кліматичні тенденції чітко відображають загальносвітові процеси глобального потепління. Регіон характеризується поступовим збільшенням середньорічних температур, скороченням тривалості та стійкості снігового покриву у зимовий період, а також докорінною зміною структури атмосферних опадів. Особливо помітним на регіональному рівні є збільшення тривалості бездощових періодів, які нерідко змінюються короткочасними, але надзвичайно інтенсивними зливами. Такі опади часто перевищують пропускну здатність існуючих міських систем водовідведення, створюючи критичне навантаження на інженерну інфраструктуру [3].

Місто Івано-Франківськ належить до щільно урбанізованих територій із високим рівнем ущільнення забудови, значною часткою асфальтованих та бетонованих поверхонь і хронічною недостатністю водопроникних зелених зон. У таких умовах навіть короткочасні зливові дощі спричиняють миттєве накопичення поверхневого стоку та локальні підтоплення. Особливо вразливими є райони історичного центру міста (середмістя), де значна частина інженерних мереж була спроектована відповідно до будівельних норм минулого століття та абсолютно не враховує сучасних кліматичних ризиків.

Зростання частоти екстремальних опадів є одним із найбільш небезпечних проявів зміни клімату для міського середовища Івано-Франківська. Через збільшення інтенсивності злив дощова вода не встигає інфільтруватися у ґрунт або потрапляти до каналізаційної системи, що призводить до підтоплення проїжджих частин, тротуарів, підземних переходів та підвальних приміщень історичних будівель. Крім прямих економічних збитків та руйнування відмосток споруд, такі явища дестабілізують транспортну систему міста, роботу комунальних служб та безпеку населення [4].

Для систематизації та комплексної екологічної оцінки зазначених деструктивних факторів у межах дослідження було узагальнено основні кліматичні загрози для міського середовища Івано-Франківська та їхні безпосередні наслідки (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

## Вплив кліматичних змін на міське середовище Івано-Франківська

| Кліматичний фактор                    | Прояв у регіоні                                             | Вплив на міське середовище                                 | Можливі наслідки                                        |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Підвищення середньорічної температури | Зростання температури повітря протягом останніх десятиліть. | Формування ефекту міського «теплового острова» (UHI).      | Перегрів територій, значне збільшення енергоспоживання. |
| Хвилі спеки (> +30 °C)                | Збільшення кількості спекотних днів у літній період.        | Погіршення мікроклімату та умов проживання населення.      | Теплові стреси, зростання захворюваності містян.        |
| Тривалі посушливі періоди             | Скорочення кількості опадів у окремі сезони.                | Висихання ґрунтів та деградація міських зелених насаджень. | Зниження рівня загального озеленення міста.             |
| Інтенсивні зливи                      | Збільшення кількості короточасних сильних дощів.            | Перевантаження застарілих систем водовідведення.           | Локальні підтоплення вулиць, тротуарів та будівель.     |
| Нерівномірний розподіл опадів         | Чергування тривалих посух та сильних раптових дощів.        | Порушення природного водного балансу міських територій.    | Прискорене руйнування дорожнього покриття та бруківки.  |
| Погіршення якості повітря             | Зростання концентрації пилу та озону під час спеки.         | Зниження загальної комфортності міського середовища.       | Респіраторні та серцево-судинні захворювання населення. |

*Джерело: складено автором на основі [1-6].*

Не менш серйозною проблемою для середмістя стає підвищення температури повітря та збільшення кількості днів із максимальною температурою понад +30 °C. В історичній частині Івано-Франківська цей процес суттєво посилюється завдяки ефекту міського «теплового острова», який виникає через надмірну акумуляцію тепла будівлями, щільними асфальтовими та бруківковими покриттями. Внаслідок цього явища температура повітря в центральних районах міста може бути на 3-7 °C вищою, ніж у приміських або сільських територіях [5].

Тривалі хвилі спеки негативно впливають на здоров'я населення, особливо людей похилого віку, дітей та осіб із хронічними серцево-судовими захворюваннями. Підвищення температури також призводить до різкого збільшення споживання електроенергії на кондиціонування приміщень, що створює аварійні навантаження на міські енергетичні системи. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, хвилі спеки входять до числа найнебезпечніших природних явищ за кількістю смертельних випадків серед населення урбанізованих територій [6].

Високі літні температури також безпосередньо сприяють погіршенню якості атмосферного повітря в місті. Під час тривалих посушливих періодів стрімко зростає концентрація пилу, дрібнодисперсних частинок PM2.5 та PM10, а також активізуються процеси утворення приземного озону та фотохімічного смогу. У поєднанні зі значним транспортним навантаженням на вузьких вулицях центру це призводить до підвищення ризику респіраторних захворювань та погіршення загального екологічного стану міського середовища [5].

Окремою важливою проблемою для Івано-Франківська є історично зумовлена недостатня кількість сучасних природоорієнтованих рішень для адаптації до кліматичних змін. Світова урбаністична та ландшафтна практика чітко демонструє, що інтеграція елементів блакитно-зеленої інфраструктури дозволяє суттєво мінімізувати ризики підтоплення та перегріву міських територій. З метою ефективної протидії кліматичним викликам у місті Івано-Франківську, на основі передового європейського досвіду, автором було систематизовано ключові адаптаційні заходи (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

## Кліматичні виклики та заходи адаптації для міста Івано-Франківська

| Кліматичний виклик | Наслідки для міста                                                             | Необхідні адаптаційні заходи (елементи ЗІ)                                               |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Хвилі спеки        | Перегрів щільної забудови, погіршення самопочуття та тепловий стрес населення. | Створення безперервних зелених коридорів, висадка "кліматичних" дерев, озеленення дахів. |

|                         |                                                                                    |                                                                                                                                  |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Інтенсивні зливи        | Локальні підтоплення територій, перевантаження зливної мережі, ерозія поверхонь.   | Впровадження дощових садів, біоканалів, використання пермеабельних (проникних) покриттів.                                        |
| Дефіцит вологи          | Висихання і деградація міських зелених насаджень, пилоутворення.                   | Облаштування інженерно-біологічних систем збору та повторного використання дощової води.                                         |
| Забруднення повітря     | Акумуляція PM2.5, PM10 та смогу у каньйонах вулиць, погіршення екологічного стану. | Вертикальне озеленення фасадів, збільшення площ багаторядного озеленення.                                                        |
| Ефект теплового острова | Аномальне підвищення температури у запечатаному бруковкою центрі міста.            | Трансформація деструктивних зон та парковок у кишенькові парки ( <i>Pocket Parks</i> ), використання світловідбивних матеріалів. |

*Джерело: складено автором на основі [1], [3], [5], [6].*

Таким чином, результати аналізу регіональних кліматичних тенденцій свідчать про те, що Івано-Франківськ уже сьогодні зазнає значного деструктивного впливу глобального потепління. Збільшення частоти інтенсивних опадів, хвиль спеки та екстремальних погодних явищ створює критичні ризики для функціонування міської інфраструктури, загального екологічного стану та якості життя населення. Це обумовлює гостру необхідність розроблення, кошторисного обґрунтування та практичного впровадження комплексних адаптаційних заходів на основі зеленої інфраструктури, що детально розглядається у наступних розділах кваліфікаційної роботи.

## 2.2. Організаційно-екологічна характеристика та фотофіксація проблемних зон

З метою оцінки екологічного стану міського середовища та виявлення основних просторових проблем центральної частини Івано-Франківська було проведено комплексне натурне обстеження території. Дослідження включало польові спостереження, фотофіксацію існуючого стану об'єктів, аналіз структури

забудови, озеленення та транспортного навантаження, а також вивчення супутникових знімків високої роздільної здатності.

Об'єктом дослідження стали ключові громадські простори історичного центру міста: Площа Ринок, територія навколо міської Ратуші та внутрішні двори Фортечної галереї «Бастіон». Саме ці локації характеризуються високою концентрацією пішохідних потоків, значною історико-культурною цінністю та водночас найбільшою вразливістю до сучасних кліматичних викликів.

Координати центральної точки досліджуваної території визначено за супутниковими даними та становлять  $48^{\circ}55'21.2664''$  N,  $24^{\circ}42'27.5688''$  E. Вказана ділянка охоплює найбільш урбанізовану частину середмістя Івано-Франківська, де переважають щільна історична забудова, значні площі твердого покриття та обмежена кількість зелених насаджень.

Для попереднього аналізу території були використані космічні знімки, що дозволили оцінити співвідношення між природними та антропогенними елементами міського ландшафту.



*Джерело: складено автором на основі супутникових знімків Google Earth.*

Рис. 2.1 - Супутникові знімки досліджуваної території (Площа Ринок та Ратуша)

Проведений аналіз супутникових матеріалів показав значне переважання штучних поверхонь над природними елементами середовища. Більшу частину

території займають площі з бетонним, кам'яним та асфальтовим покриттям, які характеризуються високою здатністю до накопичення та тривалого утримання теплової енергії. Частка зелених насаджень є незначною та представлена переважно окремими деревами або невеликими фрагментами озеленення, що не формують цілісної екологічної мережі.

Наступним етапом дослідження стала детальна фотофіксація об'єктів безпосередньо на місцевості. Польові обстеження проводилися в умовах інтенсивного використання громадських просторів, що дозволило оцінити не лише фізичний стан територій, але й особливості їх функціонування.



*Джерело: матеріали польових досліджень автора.*

Рис. 2.2. - Фотофіксація сучасного стану локацій у середмісті Івано-Франківська

За результатами польових досліджень встановлено, що одним із ключових недоліків досліджуваної території є критичний дефіцит високорослих дерев із розвиненою кроною. Більшість громадських просторів залишаються практично незатіненими протягом літнього періоду, що суттєво погіршує комфорт перебування людей під час спекотної погоди.

Особливо гостро ця проблема проявляється на Площі Ринок та прилеглих до Ратуші територіях.

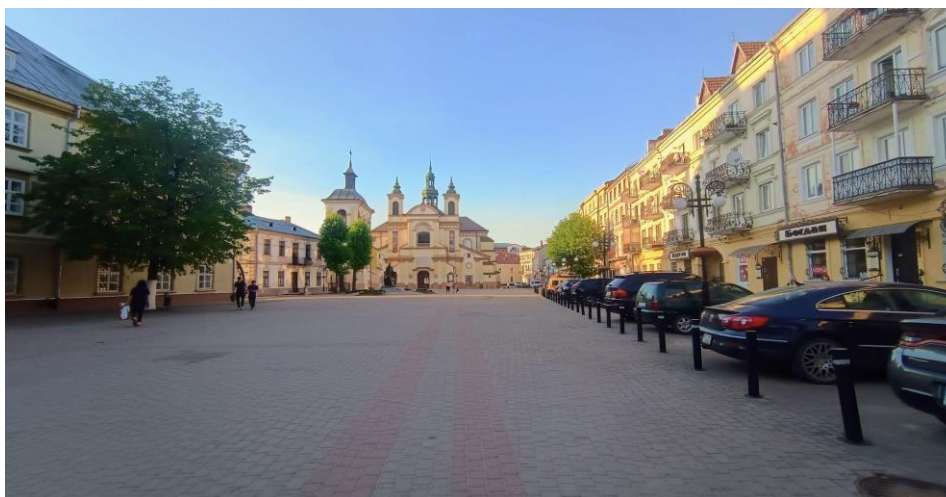


Рис. 2.3 - Площа Ринок та підходи до Ратуші

Площа характеризується значними площами суцільного мощення та майже повною відсутністю елементів вертикального озеленення. Відсутність природного затінення сприяє інтенсивному нагріванню поверхонь у літній період та формуванню локальних осередків перегріву. Під час сонячної погоди кам'яне покриття акумулює значну кількість тепла, яке продовжує виділятися навіть у вечірні години, підсилюючи ефект міського теплового острова. Дослідження внутрішніх просторів галереї «Бастіон» виявило інший тип екологічних проблем.



Рис. 2.4 - Внутрішні двори та переходи галереї «Бастіон»

На зазначеній території спостерігається велика кількість відкритих цегляних та бетонних поверхонь, які характеризуються високою теплоємністю та сприяють накопиченню тепла протягом дня. Додатковим негативним фактором є наявність зон хаотичного паркування транспортних засобів, що погіршує естетичне сприйняття простору та зменшує можливості для його екологічної модернізації. Під час обстеження фасадів історичних будівель було зафіксовано ознаки локального теплового стресу, які проявляються через надмірне нагрівання стін та прилеглих поверхонь.



Рис. 2.5 - Фасади історичних споруд середмістя

Значна частина фасадів історичної забудови орієнтована таким чином, що впродовж більшої частини дня перебуває під прямим впливом сонячної радіації. За відсутності достатньої кількості дерев та інших природних елементів регулювання мікроклімату це призводить до підвищення температури навколишнього середовища та зниження комфортності перебування людей на прилеглих територіях.

У ході дослідження також були виявлені так звані «сірі» або деструктивні елементи міського середовища, які негативно впливають на екологічний стан території. До них належать надмірні площі твердого покриття, занедбані внутрішні двори, ділянки хаотичного паркування автомобілів, відсутність

зелених буферів між транспортною та пішохідною інфраструктурою, а також значна кількість вертикальних поверхонь без елементів озеленення.

Для узагальнення результатів натурного обстеження складено таблицю оцінки основних проблем досліджуваної території.

Таблиця 2.1

#### Основні екологічні проблеми досліджуваної території

| Виявлена проблема                            | Локація                      | Ступінь прояву |
|----------------------------------------------|------------------------------|----------------|
| Дефіцит озеленення                           | Площа Ринок                  | Високий        |
| Перегрів твердих покриттів                   | Площа Ринок, Ратуша          | Високий        |
| Відсутність затінення                        | Центральна частина території | Високий        |
| Хаотичне паркування                          | Галерея «Бастіон»            | Середній       |
| Нагрівання фасадів                           | Історична забудова           | Високий        |
| Недостатня кількість місць відпочинку в тіні | Всі локації                  | Високий        |

Таким чином, результати натурного обстеження підтвердили наявність комплексу екологічних та просторових проблем у центральній частині Івано-Франківська. Основними з них є недостатній рівень озеленення, значна частка поверхонь із високою теплоакумуючою здатністю, дефіцит затінених просторів та наявність деструктивних антропогенних елементів. Виявлені недоліки свідчать про необхідність впровадження природоорієнтованих рішень та адаптаційних заходів, спрямованих на підвищення екологічної стійкості історичного середмістя до наслідків зміни клімату.

#### 2.3. Вплив високого відсотка «запечаткування» ґрунтів суцільною бруківкою на формування ефекту міського «теплового острова»

Однією з найбільш характерних особливостей досліджуваної території центральної частини Івано-Франківська є надзвичайно високий рівень запечаткування ґрунтів. Під терміном «запечаткування» (soil sealing) розуміють покриття природної поверхні штучними водонепроникними матеріалами,

такими як асфальт, бетон, кам'яна бруківка та інші види твердого мощення. Внаслідок цього природний ґрунтовий покрив втрачає можливість виконувати свої екологічні функції, зокрема накопичення вологи, регулювання температурного режиму та забезпечення життєдіяльності рослинних організмів.

Результати натурних обстежень та аналіз супутникових матеріалів свідчать про те, що в межах Площі Ринок, території навколо Ратуші та внутрішніх дворів галереї «Бастіон» частка запечатаних поверхонь становить близько 92-95 % від загальної площі. Переважання кам'яної бруківки, бетонних покриттів та забудови призводить до практично повної відсутності відкритих ґрунтових ділянок і значного дефіциту зелених насаджень.

Високий рівень запечатування території безпосередньо впливає на формування несприятливого мікроклімату. У літній період тверді поверхні інтенсивно поглинають сонячну радіацію та акумулюють значну кількість теплової енергії. Кам'яна бруківка, яка домінує в історичному середмісті, характеризується високою теплоємністю та здатністю тривалий час утримувати накопичене тепло. За відсутності достатньої кількості рослинності більша частина цієї енергії не витрачається на процеси евапотранспірації, а передається навколишньому повітрю та прилеглим поверхням.

У результаті формується явище міського теплового острова (Urban Heat Island, UHI), яке характеризується підвищенням температури повітря в межах щільно забудованих територій порівняно з навколишніми озелениними зонами. Для центральної частини Івано-Франківська цей ефект проявляється особливо помітно під час літніх хвиль спеки. Згідно з результатами польових спостережень та аналізу наукових джерел, температура повітря на Площі Ринок у спекотні липневі дні може перевищувати температуру в міському парку імені Тараса Шевченка на 4,5-6 °C [1].

Крім безпосереднього підвищення температури повітря, ефект теплового острова спричиняє низку супутніх негативних наслідків. Зокрема, зростає теплове навантаження на населення, погіршуються умови перебування людей у громадських просторах, збільшується споживання електроенергії для

охолодження приміщень та посилюється забруднення атмосферного повітря. Особливо вразливими до таких умов є люди похилого віку, діти та особи із серцево-судинними захворюваннями.

Важливою особливістю запечатаних територій є також порушення природного водного балансу. Через відсутність можливості інфільтрації атмосферних опадів практично вся дощова вода перетворюється на поверхневий стік. Це створює додаткове навантаження на систему дощової каналізації та збільшує ризик виникнення локальних підтоплень під час інтенсивних опадів. Таким чином, проблема запечатування території має не лише кліматичний, а й гідрологічний характер.

Для оцінки впливу різних типів поверхонь на формування теплового острова проведено їх порівняльний аналіз (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Вплив різних типів міських поверхонь на формування ефекту теплового острова

| Тип поверхні          | Поглинання сонячної радіації, % | Здатність до охолодження | Вплив на формування теплового острова |
|-----------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Асфальтове покриття   | 85-95                           | Дуже низька              | Дуже високий                          |
| Кам'яна бруківка      | 75-85                           | Низька                   | Високий                               |
| Бетонні поверхні      | 70-90                           | Низька                   | Високий                               |
| Газонне покриття      | 20-40                           | Висока                   | Низький                               |
| Деревні насадження    | 15-30                           | Дуже висока              | Мінімальний                           |
| Озеленені дощові сади | 10-25                           | Дуже висока              | Мінімальний                           |

*Джерело: складено автором на основі [1], [2], [4].*

Наведені дані підтверджують, що найбільший внесок у формування ефекту міського теплового острова здійснюють штучні покриття, які переважають у структурі досліджуваних територій. Водночас природні елементи міського середовища, зокрема дерева, газони та дощові сади, забезпечують ефективне природне охолодження території та сприяють покращенню мікрокліматичних умов.

У ході польового обстеження також було встановлено наявність значної кількості малоефективно використаних просторів, представлених ділянками хаотичного паркування, надлишково заощеними зонами та малопривабливими внутрішніми двориками. Такі території можуть розглядатися як потенційні осередки впровадження природоорієнтованих рішень. Їх трансформація у невеликі зелені простори типу «stepping stones» («зелені сходинки») дозволить створити мережу взаємопов'язаних екологічних елементів у межах історичного центру міста.

Впровадження таких заходів сприятиме зниженню температури поверхонь, покращенню інфільтрації дощових вод, підвищенню біорізноманіття та формуванню більш комфортного міського середовища. Крім того, збільшення площ озеленення дозволить частково компенсувати негативні наслідки зміни клімату та підвищити адаптаційну спроможність історичного середмістя Івано-Франківська.

Таким чином, надмірний рівень запечатування ґрунтів є одним із ключових чинників формування ефекту міського теплового острова на досліджуваній території. Зменшення площ суцільного мощення та інтеграція природних компонентів у структуру громадських просторів повинні стати пріоритетними напрямками подальшого розвитку та кліматичної адаптації історичного центру міста.

### РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА, КОШТОРИСНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ АДАПТИВНИХ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ З ОЗЕЛЕНЕННЯ

#### 3.1. Техніко-екологічне проєктування елементів зеленої інфраструктури в середмісті Івано-Франківська

У попередніх розділах було обґрунтовано, що традиційні інженерні капітальні ремонти міських комунікацій та розширення «сірої» інфраструктури вимагають мільйонних фінансових інвестицій з місцевого бюджету, проте не вирішують першопричин екологічної деградації урбосередовища. На противагу цьому, розбудова елементів зеленої інфраструктури постає як сучасний, високоекологічний та фінансово раціональний спосіб суттєвого зниження локальних температур, регулювання дощового стоку й оптимізації мікроклімату щільно забудованих територій.

Третій розділ дослідження присвячено безпосередньому техніко-екологічному проєктуванню, просторовому моделюванню та розрахунку варіативних кошторисів для впровадження елементів блакитно-зеленої інфраструктури в межах найбільш уразливих зон середмістя міста Івано-Франківська. На основі попередньо проведеного аналізу та натурної фотофіксації локацій визначено інженерно-біологічні параметри об'єктів, підібрано асортимент стійкої рослинності й розроблено диференційовані архітектурно-ландшафтні сценарії для підвищення загальної кліматичної стійкості (*resilience*) досліджуваної території.

Проведене детальне екологічне обстеження та фотофіксація центральної історичної частини міста Івано-Франківська - зокрема Площі Ринок, території навколо Ратуші та внутрішніх дворів Фортечної галереї «Бастіон» - дозволили виявити низку гострих мікрокліматичних та просторових проблем. Ключовими деструктивними факторами на вказаних локаціях визначено:

1. Надзвичайно високий відсоток штучно «запечатаного» ґрунту, сформованого суцільним покриттям з гранітної та бетонної бруківки. Дані

матеріали мають високу теплоємність і низьке альbedo, внаслідок чого вони активно акумулюють сонячне випромінювання протягом світлового дня та інтенсивно ревипромінюють його в приземний шар повітря вночі, формуючи стійкий локальний ефект міського «теплого острова».

2. Критичний брак високостовбурних дерев із розлогими кронами на відкритих громадських просторах площ, що унеможлиблює утворення затінених пішохідних зон та зон комфортного відпочинку мешканців і туристів у літній період.

3. Наявність значної кількості порожніх, екологічно пасивних цегляних та бетонних фасадів будівель, які також виступають потужними тепловими акумуляторами і погіршують естетико-візуальні характеристики історичного середмістя.

З метою подолання виявлених деструкцій та інтеграції центру міста у зв'язану екологічну систему, автором запропоновано концепцію трансформації паркувальних зон, «мертвих» кутів та пасивних вертикальних поверхонь на мережу локальних екологічних вузлів - «stepping stones» (крокових сходинок для біорізноманіття). Такі елементи мають зв'язати розрізнені зелені плями середмістя у стійкий, цілісний зелений каркас. Схематична концепція формування цієї екологічної мережі в межах досліджуваних локацій представлена на рис. 3.1.



Рис. 3.1 - Приклад просторового розміщення та зв'язності елементів зеленої інфраструктури (stepping stones) для середмістя Івано-Франківська

У межах підрозділу розроблено та технічно спроектовано три диференційовані проєктні рішення для зазначених територій.

Проектне рішення №1: Інтеграція великомірних дерев-крупномірів у пішохідні зони

Це рішення розраховане на безпосередню висадку трьох великих дерев-крупномірів із сформованою високою кроною для швидкого створення суцільної тіні над відкритими ділянками пішохідних тротуарів та зниження радіаційної температури штучних покриттів.

- Відкритий простір Площі Ринок поблизу Ратуші, де спостерігається найбільший дефіцит природного затінення.

- Як основний дендрологічний матеріал запропоновано використовувати Клен гостролистий (зокрема, декоративний сорт 'Crimson King') або Липу. Ці види характеризуються високим природним імунітетом до специфічного міського забруднення (загазованість, запиленість) та швидкою адаптивністю до умов обмеженого пристовбурного простору.

- Проєкт передбачає акуратний локальний демонтаж бруківки, викопування посадкових ям оптимального об'єму, обов'язкове закладання дренажного шару, внесення спеціалізованих пролонгованих добрив, встановлення захисних пристовбурних решіток та систем механічної фіксації стовбурів крупномірів. Принципову інженерно-біологічну схему посадки дерева-крупноміра в умовах суцільного запечатування бруківкою наведено на рис. 3.2.



Рис. 3.2 - Конструктивна інженерно-біологічна схема посадки дерева-крупноміра в міську бруківку з облаштуванням дренажної та аераційної систем

## Проектне рішення №2: Вертикальне багатоярусне озеленення екологічно пасивних фасадів

Дане інженерно-біологічне рішення розроблене для масштабного засадження глухих цегляних та бетонних стін, які наразі акумулюють теплову енергію у внутрішніх подвір'ях історичної забудови.

- Внутрішні закриті двори Фортечної галереї «Бастіон» та прилеглі провулки середмістя.
- Розрахунок параметрів проведено для умовної модельної ділянки глухої стіни довжиною 10 пог. м. При кроці висадки через кожні 50 см загальна потреба становить 20 саджанців. Основним фітокомпонентом обрано Плющ (дорослий високорослий саджанець висотою 220-240 см).
- Проектуванням передбачено два альтернативні інженерні підходи : пасивне вертикальне озеленення безпосередньо по стіні або активне озеленення з монтажем допоміжної металевої чи пластикової сітки-опори, яка спрямовує ріст ліан та прискорює термоізоляційний ефект. Стіна з рослинністю захищає конструктивні елементи будівлі від прямого сонячного перегріву, забезпечуючи ефект природної термоізоляції. Графічна модель розподілу температурних потоків на незахищеній та озелененій стіні фасаду «Бастіону» зображена на рис. 3.3.



Рис. 3.3 - Графічна модель теплоізоляційного ефекту вертикального озеленення: порівняння температурного профілю голого фасаду та стіни з ліанами плюща

### Проектне рішення №3: Облаштування кишенькового парку (Pocket Park) на деструктивних зонах

Проектне рішення базується на радикальній трансформації та ревіталізації «мертвих» асфальтобетонних зон або кількох надлишкових паркомісць у центрі міста у компактну, інклюзивну екологічну зону відпочинку загальною площею 50 м².

- Периферійні ділянки Площі Ринок та прилеглі зони регулювання вуличного паркування.
- Для умов агресивного міського середовища підібрано специфічний асортимент видів, здатних стабільно витримувати високу концентрацію вихлопних газів, тимчасове засолення ґрунтів та періодичний літній дефіцит вологи. Проектом закладено використання стійких хвойних, чагарникових та злакових порід: Ялівцю, Клена, Спіреї, Лаванди та Вівсяниці, які поєднують високу витривалість із вираженими фітонцидними властивостями.

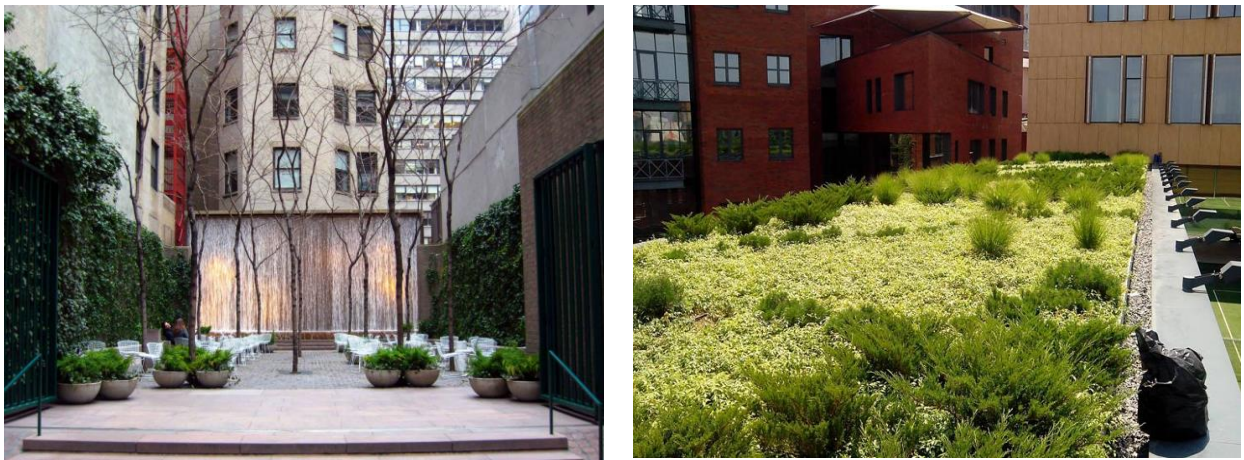


Рис. 3.4 - Архітектурно-ландшафтний ескіз та план планувальної структури кишенькового парку (Pocket Park) площею 50 кв.м у середмісті Івано-Франківська

- Передбачено повний демонтаж верхнього шару бруківки на площі 50 м², виїмку будівельного сміття, засипку якісного родючого субстрату та формування функціональних зон. Просторова структура парку розроблена у двох концептуальних ландшафтних моделях: сценарій еко-саду «низького

догляду» із засипкою декоративною сосною корою (Варіант А) та сценарій преміального інтенсивного благоустрою з рулонним газоном, магноліями та підземною системою автоматичного крапельного поливу (Варіант Б). Архітектурно-ландшафтний ескіз та план зонування запропонованого кишенькового парку площею 50 м<sup>2</sup> представлено на рис. 3.4.

Розроблені техніко-екологічні параметри, просторові характеристики та графічні моделі трьох описаних проєктів виступають безпосередньою базою для проведення детального варіативного кошторисного розрахунку та комплексної оцінки їхньої міжгалузевої ефективності, що детально викладено у наступному підрозділі 3.2.

### 3.2. Кошторисний аналіз та комплексна оцінка екологічної, соціально-медичної й комерційної ефективності проєктів

Важливим етапом розроблення адаптивних екологічних проєктів є їхнє фінансово-економічне обґрунтування на основі реальних ринкових показників, а також розрахунок інтегральної ефективності від їхнього впровадження. Проведення детального кошторисного аналізу дозволяє диференціювати капітальні витрати та підібрати найбільш раціональні сценарії благоустрою для середмістя Івано-Франківська. Для кожного з трьох спроектованих у підрозділі 3.1 рішень автором було розроблено два альтернативні варіанти реалізації: Варіант А (Базовий / Раціональний) та Варіант Б (Преміальний / Елітний).

Кошторисний розрахунок виконано на основі актуальних прайс-листів провідних вітчизняних розплідників рослин та середньоринкової вартості ландшафтно-будівельних робіт у регіоні.

1. Кошторисний аналіз Проєктного рішення №1 (Висадка дерев-крупномірів). Проєкт розрахований на локальну інтеграцію 3 великих дерев із сформованою кроною в пішохідну зону Площі Ринок для негайного створення тіньового екрана.

- Варіант А: Передбачає використання базових, стійких до міських умов кленів або лип із середнім обхватом стовбура. Вартість одного саджанця становить 4 900 грн.

- Варіант Б: Орієнтований на використання елітного Клена гостролистого 'Crimson King' вартістю 8 500 грн за одиницю. Його головна перевага - насичений багрянний колір листя та повністю сформована щільна крона, що дозволяє одразу створити сильний візуальний та естетичний акцент у ключовій туристичній зоні міста.

Зведена вартість ландшафтних робіт (включаючи механізоване або ручне викопування посадкової ями в умовах запечатаного ґрунту, безпосередню висадку, внесення органічних і мінеральних добрив та фіксацію) становить від 400 до 500 грн за одне дерево. Зведений кошторис для Рішення №1 наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Порівняльний кошторис Проектного рішення №1 (висадка 3 дерев-крупномірів)

| Найменування витрат                       | К-сть    | Варіант А (Базовий) | Варіант Б (Преміальний) |
|-------------------------------------------|----------|---------------------|-------------------------|
| Саджанці клена/липи (базові)              | 3 шт.    | 14 700 грн          | -                       |
| Саджанці Клена 'Crimson King' (елітні)    | 3 шт.    | -                   | 25 500 грн              |
| Комплекс посадкових робіт та добрива      | 3 шт.    | 1 500 грн           | 1 500 грн               |
| Пристовбурні захисні системи та кріплення | 3 компл. | 2 400 грн           | 4 200 грн               |
| УСЬОГО капітальних витрат:                |          | 18 600 грн          | 31 200...               |

Проведений кошторисний аналіз свідчить, що обидва варіанти реалізації проектного рішення є фінансово доступними для впровадження в умовах міського бюджету та забезпечують досягнення основної мети - створення додаткового затінення та покращення мікроклімату Площі Ринок. Базовий варіант передбачає найменші капітальні витрати у розмірі 18 600 грн і може

розглядатися як економічно доцільне рішення для швидкого озеленення території. Водночас преміальний варіант потребує більших інвестицій - 31 200 грн, що на 12 600 грн або близько 68 % більше порівняно з базовим сценарієм.

Незважаючи на вищу вартість, використання декоративного клена гостролистого 'Crimson King' дозволяє отримати не лише екологічний, але й виражений архітектурно-естетичний ефект. Завдяки сформованій кроні та характерному багряному забарвленню листя дерева здатні стати акцентними елементами міського простору та підвищити туристичну привабливість історичного середмістя.

З огляду на незначну різницю у вартості порівняно з потенційними довгостроковими екологічними та соціальними перевагами, висадка дерев-крупномірів може розглядатися як один із найбільш ефективних природоорієнтованих заходів адаптації центральної частини Івано-Франківська до наслідків зміни клімату та зменшення проявів ефекту міського теплового острова.

2. Кошторисний аналіз Проектного рішення №2 (Вертикальне озеленення фасадів). Розрахунок інвестицій проведено для засадження однієї модельної глухої стіни у дворах Фортечної галереї «Бастіон» протяжністю 10 погонних метрів (щільність висадки - 1 саджанець на 0,5 м, усього 20 одиниць).

- Варіант А (Пасивне озеленення): Передбачає висадку бюджетних молодих саджанців площа безпосередньо біля стіни. Цей раціональний варіант є фінансово економічним, проте потребує тривалого часу (від 3 до 4 років), щоб вегетативна маса повністю затягнула цегляну кладку.

- Варіант Б (Активне озеленення): Базується на використанні дорослих, сформованих крупних ліан площа заввишки 220-240 см за ціною 1 900 грн за одиницю. Технологія передбачає обов'язковий монтаж допоміжної металевої або високоміцної пластикової сітки-опори на стіну. Завдяки цьому «гола» цегла закривається фітомасою майже миттєво, забезпечуючи швидкий термоізоляційний ефект.

Вартість робіт із висадки чагарників та ліан коливається в межах 150-450 грн за одиницю залежно від складності. Зведені дані представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Порівняльний кошторис Проектного рішення №2 (вертикальне озеленення стіни 10 пог. м)

| Елементи витрат                              | К-сть    | Варіант А (Пасивне) | Варіант Б (Активне) |
|----------------------------------------------|----------|---------------------|---------------------|
| Саджанці Плюща (молоді / дорослі крупноміри) | 20 шт.   | 3 600 грн           | 38 000 грн          |
| Монтаж допоміжної сітки-опори з кріпленням   | 10 пог.м | -                   | 6 500 грн           |
| Посадкові роботи та підготовка ґрунту        | 20 од.   | 3 000 грн           | 6 000 грн           |
| УСЬОГО капітальних витрат:                   |          | 6 600 грн           | 50 500 грн          |

Порівняльний кошторисний аналіз показав суттєву різницю між двома підходами до реалізації вертикального озеленення фасадів. Пасивний варіант передбачає мінімальні капітальні вкладення у розмірі 6 600 грн та є найбільш економічно доступним рішенням для впровадження. Його основною перевагою є низька початкова вартість та простота виконання робіт. Водночас отримання повноцінного екологічного та візуального ефекту потребуватиме тривалого часу, оскільки молодим рослинам необхідно від 3 до 4 років для повного покриття поверхні стіни.

Активний варіант характеризується значно вищими початковими інвестиціями - 50 500 грн, що майже у вісім разів перевищує вартість пасивного сценарію. Основна частка витрат припадає на придбання дорослих сформованих ліан плюща та облаштування спеціальної опорної конструкції. Разом із тим саме цей підхід забезпечує практично миттєве формування зеленої стіни та дозволяє одразу отримати необхідний декоративний, кліматичний і теплоізоляційний ефект.

Вертикальне озеленення фасадів має важливе значення для покращення мікроклімату досліджуваної території. Рослинний покрив зменшує нагрівання цегляних і бетонних поверхонь, сприяє підвищенню вологості повітря, знижує

температуру прилеглого простору та покращує естетичне сприйняття історичного середовища. Крім того, зелені фасади виконують функцію природного фільтра, затримуючи пил та частково поглинаючи забруднювальні речовини з атмосфери.

Отже, вибір конкретного варіанта залежить від наявного бюджету та часових рамок реалізації проєкту. Пасивний варіант є оптимальним за умов обмеженого фінансування та орієнтації на довгострокову перспективу, тоді як активний варіант доцільний для швидкого досягнення екологічного та візуального результату в межах історичного центру Івано-Франківська. З позиції адаптації міського середовища до кліматичних змін вертикальне озеленення є одним із найбільш ефективних природоорієнтованих рішень, здатних суттєво зменшувати негативний вплив ефекту міського теплового острова.

3. Кошторисний аналіз Проєктного рішення №3 (Створення кишенькового парку). Розрахунок інвестицій здійснено для ревіталізації деструктивної зони або 2-3 паркомісць загальною площею 50 м<sup>2</sup>.

- Варіант А (Сад низького догляду): Передбачає демонтаж бруківки, заміну ґрунту, висадку невибагливих стійких багаторічників і кущів (Лаванда, Вівсяниця, Спірея) та суцільне засипання відкритої поверхні шаром декоративної соснової кори. Відсутність класичного газону повністю виключає потребу в постійному косінні. Кора надійно утримує вологу, а ксерофітні злакові трави та лаванда не потребують регулярного поливу, що формує тип саду «висадив і забув».

- Варіант Б (Інтенсивний преміум-благоустрій): Спрямований на укладання високоякісного рулонного газону, висадку акцентних ялівців, магнолій або гортензій. Цей сценарій вимагає обов'язкового проєктування та підведення підземної інженерної системи автоматичного крапельного поливу, оскільки без належного зволоження газон біля розпеченого паркувального асфальту швидко деградує та висохне.

Загальна вартість Варіанта А (разом із демонтажними та земляними роботами) становить близько 50 000 грн, тоді як Варіант Б через складність

інженерних мереж та дорожнечу дендроматеріалу досягає близько 125 000 грн. Зведений аналіз наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Порівняльний кошторис Проектного рішення №3 (кишеньковий парк площею 50 м<sup>2</sup>)

| Статті витрат та складові проекту                    | Варіант А (Низький догляд) | Варіант Б (Преміум) |
|------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|
| Демонтаж покриття, земляні роботи, утилізація        | 12 000 грн                 | 15 000 грн          |
| Родючий ґрунт та геотекстиль                         | 6 500 грн                  | 8 000 грн           |
| Рослинний матеріал (багаторічники / магнолії, газон) | 22 000 грн                 | 54 000 грн          |
| Декоративна кора / Інженерна система автополиву      | 4 500 грн                  | 32 000 грн          |
| Ландшафтно-будівельні роботи з реалізації            | 5 000 грн                  | 16 000 грн          |
| УСЬОГО капітальних витрат:                           | 50 000 грн                 | 125 000...          |

Результати кошторисного аналізу свідчать, що створення кишенькового парку є найбільш масштабним серед запропонованих природоорієнтованих рішень як за обсягом робіт, так і за потенційним екологічним ефектом. Вартість реалізації Варіанта А становить 50 000 грн, тоді як преміальний Варіант Б потребує інвестицій у розмірі 125 000 грн, що у 2,5 раза більше. Основна різниця у вартості обумовлена використанням дорогого декоративного рослинного матеріалу, облаштуванням системи автоматичного поливу та необхідністю виконання додаткових інженерних робіт.

Варіант А є найбільш раціональним з точки зору довгострокової експлуатації та витрат на утримання. Використання посухостійких багаторічників, декоративних злаків і кущів дозволяє мінімізувати потребу у регулярному поливі, косінні та сезонному догляді. Такий підхід повністю відповідає сучасним принципам сталого ландшафтного проєктування та адаптації міського середовища до кліматичних змін.

Варіант Б забезпечує вищий декоративний рівень благоустрою та створює більш виразний естетичний образ громадського простору. Наявність газону, квітучих чагарників і декоративних дерев підвищує рекреаційну цінність

території та її привабливість для мешканців і туристів. Водночас ефективне функціонування такого простору потребуватиме постійних експлуатаційних витрат, пов'язаних із роботою системи поливу, доглядом за газоном та регулярним обслуговуванням насаджень.

Слід зазначити, що кишеньковий парк має найбільший комплексний екологічний ефект серед усіх запропонованих проєктних рішень. На відміну від окремих дерев чи вертикального озеленення, він одночасно вирішує декілька проблем міського середовища: зменшує площу запечатаних поверхонь, покращує інфільтрацію дощових вод, знижує температуру повітря, підвищує біорізноманіття та створює новий громадський простір для відпочинку населення. Крім того, трансформація занедбаних або неефективно використовуваних паркувальних зон у зелені осередки сприяє формуванню безперервного екологічного каркаса центральної частини міста.

Отже, з економічної точки зору найбільш доцільним є Варіант А, який поєднує відносно невисоку вартість реалізації з мінімальними витратами на подальше утримання. Водночас Варіант Б може бути рекомендований для знакових громадських просторів, де пріоритетом є максимальний декоративний ефект та високий рівень благоустрою. Незалежно від обраного сценарію, створення кишенькового парку є ефективним інструментом екологічної ревіталізації середмістя Івано-Франківська та важливим кроком у напрямі підвищення його кліматичної стійкості.

Впровадження запропонованих локальних екологічних вузлів забезпечує високий міжгалузевий ефект і повністю інтегрується у масштабну офіційну Кліматичну стратегію Івано-Франківської області, загальний обсяг фінансування якої передбачено на рівні 152 млн євро.

Реалізація розроблених рішень забезпечує пряме зниження радіаційної температури штучних поверхонь та приземного шару повітря в середмісті на 1-8 °C залежно від щільності покриття фітомасою. Одночасно з цим, облаштування локальних елементів утримання вологи (наприклад, невеликого дощового саду чи кишенькового парку) вартістю всього 50-70 тис. грн дозволяє ефективно

акумулювати та інфільтрувати зливовий стік безпосередньо у місці його випадіння. Це нівелює потребу в капітальній інженерній модернізації ділянок підземних зливних колекторів, вартість будівництва яких вимагає сотень тисяч гривень з міського бюджету. На основі офіційних критеріїв Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) доведено, що безперервна мережа стійких екологічних об'єктів у пішій доступності від місць перебування людей суттєво знижує рівень хронічного психологічного та екологічного стресу містян. Додатково, активне затінення та транспірація знижують ризики загострення серцево-судинних, хронічних та респіраторних захворювань у населення під час тривалих інтенсивних хвиль літньої спеки. Якісний ландшафтний благоустрій та покращення мікроклімату суттєво капіталізують простір. Наявність тіні та естетичного озеленення підвищує ринкову вартість об'єктів комерційної нерухомості в центрі Івано-Франківська та різко збільшує привабливість локацій для відкриття літніх майданчиків закладів громадського харчування. Це стимулює розвиток малого бізнесу та генерує додаткові стабільні податкові надходження до місцевого муніципального бюджету.

Таким чином, зелена інфраструктура виступає високоефективною, економічно вигідною та гнучкою альтернативою капітальним ремонтам «сірих» інженерних мереж, здатною забезпечити стійкий розвиток міста в умовах прогресуючих змін клімату [17, 12, 4].

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПРИ ВИКОНАННІ БЛАГОУСТРОЮ ТА ЗЕЛЕНБУДІВНИХ РОБІТ У МІСТАХ

Реалізація запропонованих у третьому розділі адаптивних проєктних рішень із впровадження елементів зеленої інфраструктури (висадка дерев-крупномірів, монтаж конструкцій вертикального озеленення та ревіталізація деструктивних зон під кишенькові парки) в умовах щільної забудови середмістя Івано-Франківська пов'язана з комплексом небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Специфіка проведення робіт на громадських просторах, поблизу пішохідних потоків, діючих підземних комунікацій та транспортних артерій вимагає суворого дотримання вимог Закону України «Про охорону праці», державних будівельних норм (ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека у будівництві»), а також нормативно-правових актів у сфері цивільного захисту.

Комплекс благоустрою та зеленбудівних робіт супроводжується залученням засобів малої механізації, ручного та електрифікованого інструменту, а також вантажопідйомної техніки (під час транспортування та висадки дерев-крупномірів). Відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, до виконання робіт допускаються особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичний огляд, вступний, первинний та цільовий інструктажі, а також мають відповідну кваліфікацію.

Під час виконання робіт на об'єктах середмістя Івано-Франківська на персонал діють такі основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори: рухомі машини та механізми; елементи обладнання, що обертаються; небезпека падіння предметів з висоти (при монтажі систем вертикального озеленення); гострі краї інструментів; підвищена або знижена температура повітря, пряма сонячна радіація (ризик теплового удару в літній період); небезпека ураження електричним струмом; фізичні перевантаження (динамічні та статичні) під час

ручного виймання ґрунту, перенесення саджанців чи мощення елементів благоустрою.

З метою мінімізації впливу зазначених факторів та забезпечення безпечних умов праці безпосередньо під конкретні технологічні процеси, автором було сформовано карту забезпечення індивідуальної безпеки персоналу (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Комплекс небезпечних факторів та обов'язкові засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

| Вид робіт з благоустрою                      | Ключові небезпечні та шкідливі фактори                                                               | Необхідні ЗІЗ для персоналу                                                                                                                                           | Нормативне обґрунтування (ДСТУ/НПАОП)                                                |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Висадка дерев-крупномірів (Рішення №1)       | Рухомі частини маніпулятора, ризик падіння кому землі, затискання кінцівок, притиснутість стовбуром. | Захисна каска (клас Б), сигнальний жилет (2-й клас видимості), захисне взуття з металевим підноском (ударна міцність 200 Дж), рукавиці з нітриловим покриттям.        | НПАОП 0.00-1.75-15 (Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт). |
| Монтаж вертикального озеленення (Рішення №2) | Падіння з висоти, падіння інструменту на людей знизу, гострі краї металевих сіток-опор.              | Лямковий запобіжний пояс (безстропний або з амортизатором), захисна каска з підборідним ремнем, рукавиці з високим рівнем захисту від порізів (рівень C/D за EN 388). | НПАОП 0.00-1.15-07 (Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті).        |

Оскільки висадка дерев-крупномірів здійснюється за допомогою автомобільних кранів або маніпуляторів, особливу увагу приділяють вантажопідйомним операціям:

1. Перед початком робіт зону радіуса дії крана (плюс 5 метрів) огорожують захисними інвентарними щитами або сигнальною стрічкою, встановлюють попереджувальні знаки безпеки. Прохід сторонніх осіб та пішоходів у зону проведення робіт суворо заборонено.

2. Стропування кому землі крупноміра дозволяється виконувати тільки сертифікованими текстильними стропами відповідної вантажопідйомності, щоб запобігти пошкодженню стовбура чи розсипанню прикореневого кому. Перебування працівників під піднятим деревом забороняється.

3. Оскільки роботи проводяться в історичному центрі, розробка посадкових ям глибиною понад 0,5 м має погоджуватися з балансоутримувачами підземних інженерних мереж (газопровід, водопровід, силові кабелі). У разі виявлення не позначених на планах кабелів чи трубопроводів роботи негайно припиняють до з'ясування обставин.

Монтаж опорних металевих чи пластикових сіток на фасадах Фортечної галереї «Бастіон» належить до робіт на висоті та виконується з дотриманням НПАОП 0.00-1.15-07 «Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті»:

1. Роботи виконуються з інвентарних риштувань, підмостків або автомобільних гідропідйомників (вишок). Використання випадкових підручних засобів (бочок, ящиків) як опор категорично заборонено.

2. Працівники на висоті понад 1,3 метра зобов'язані використовувати запобіжні пояси з амортизаторами, надійно закріплені до тримальних конструкцій будівлі у місцях, вказаних виконавцем робіт. Обов'язковим є носіння захисних касок.

3. Інструмент та дрібні деталі кріплення повинні знаходитися у спеціальних сумках, виключаючи їхнє випадкове падіння вниз. Зону під місцем ведення висотних робіт огорожують сигнальними засобами.

Під час демонтажу існуючої бруківки, асфальтового покриття та влаштування пермеабельного мощення виникають ризики травмування осколками та шкідливого впливу пилу:

1. Працівники, які виконують руйнування твердого покриття за допомогою відбійних молотків чи дискових бензорізів, забезпечуються захисними окулярами закріпленого типу, респіраторами для захисту органів

дихання від силікатного пилу, а також протишумовими навушниками та віброзахисними рукавицями.

2. Електрифікований інструмент повинен мати подвійну ізоляцію. Підключення до електромережі здійснюється через пристрої захисного вимкнення (ПЗВ). Забороняється працювати з електроінструментом під час атмосферних опадів на відкритому просторі без навісу.

3. При використанні ручних та механічних віброплит для ущільнення ґрунту та основи під рулонний газон чи мощення, оператор повинен дотримуватися режимів праці та відпочинку для запобігання розвитку вібраційної хвороби.

Організація пожежної безпеки на тимчасових майданчиках капітального благоустрою здійснюється відповідно до Кодексу цивільного захисту України та «Правил пожежної безпеки в Україні»:

1. Місця складування горючих ландшафтних матеріалів (декоративна соснова кора, дерев'яні кілки для розтяжок, геотекстиль, пластикові дренажні елементи) мають бути чітко відокремлені від місць ведення вогневих або зварювальних робіт. Тимчасові склади укомплектовуються первинними засобами пожежогасіння (порошкові або вуглекислотні вогнегасники типу ВП-5 або ВВ-3, покривала з негорючого теплоізоляційного матеріалу).

2. Забороняється розведення багать, спалювання будівельного сміття та залишків пакувальних матеріалів на території об'єктів благоустрою. Куріння дозволяється виключно у спеціально відведених та обладнаних місцях.

Вимоги промислової санітарії та гігієни праці передбачають забезпечення працівників санітарно-побутовими приміщеннями, якісним питним водопостачанням та аптечками першої медичної допомоги. Оскільки значна частина робіт з висадки та догляду за рослинністю виконується у літній період під відкритим сонцем, для запобігання перегріву та сонячним ударам встановлюється раціональний питний режим (наявність мінералізованої або питної води із розрахунку не менше 3-3,5 л на людину в зміну). Роботи в умовах екстремальних температур ( $> +35^{\circ}\text{C}$ ) за можливістю переносяться на ранкові та

вечірні години. Персонал забезпечується спецодягом із натуральних тканин та головними уборами.

Виконання будівельно-ландшафтних робіт у сучасних умовах вимагає обов'язкового врахування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій (НС) воєнного, техногенного та природного характеру. З метою організації оперативного управління трудовим колективом під час виникнення позаштатних ситуацій різного генезу в історичному центрі міста, автором було розроблено та структуровано загальну матрицю критичного реагування та оповіщення на робочому майданчику (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Матриця екстрених дій та інженерно-технічних заходів у разі виникнення НС

| Тип надзвичайної ситуації                            | Першочергова дія керівника робіт (виконроба)                                          | Технічні заходи на майданчику                                                                                                                                | Номер екстреної / Верифікація                                                            |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Сигнал «Повітряна тривога» (Воєнний характер)        | Негайна усна команда: «Роботу зупинити, всім в укриття!».                             | Опускання вантажів краном на землю, втягування стріли, повне знеструмлення електрифікованих щитів та інструменту. Перехід до підвалів «Бастіону» або Ратуші. | Застосунок «Повітряна тривога» / Офіційні канали ДСНС.                                   |
| Виявлення предметів, схожих на боєприпаси (ВНП)      | Зупинка робіт у радіусі 50 м, евакуація людей за межі небезпечної зони.               | Візуальне огороження місця знахідки сигнальною стрічкою або кілками. Організація тимчасового спостереження (без наближення до предмета).                     | 101 - ДСНС України                                                                       |
| Раптовий початок зливи та грози (Природний характер) | Припинення робіт на висоті (фасади) та операцій з підйому дерев.                      | Тимчасове укриття відкосів розритих посадкових ям геотекстилем від розмиву. Захист електричного кабельного господарства водонепроникними кожухами.           | 102 - Національна поліція.<br><br>112 - Єдина служба екстреної допомоги / Гідрометцентр. |
| Термічний опік / Тепловий удар працівника            | Надання першої домедичної допомоги, перенесення потерпілого в тінь, контроль дихання. | Припинення робіт на спеці. Застосування засобів з аптечки першої допомоги (охолоджуючі пакети, чиста питна вода).                                            | 103 - Екстрена медична допомога.                                                         |

Згідно з вимогами ДСНС України, алгоритм дій працівників при загрозі авіаційного чи ракетного удару є чітко регламентованим:

1. Керівник робіт (виконроб, майстер) при отриманні сигналу через мобільні додатки або загальноміську систему оповіщення зобов'язаний негайно віддати команду на зупинку всіх видів робіт.

2. Вантажопідйомні машини (крани, маніпулятори) переводяться в безпечний стан: вантаж (дерево, конструкція) опускається на землю, стріла втягується, двигун глушиться. Електроінструмент знеструмлюється.

3. Персонал організовано, без паніки залишає робочий майданчик та прямує до найближчого сертифікованого укриття або захисної споруди цивільного захисту. Враховуючи специфіку локацій (Площа Ринок, Ратуша, Фортечна галерея «Бастіон»), найближчими укриттями є підвальні приміщення комунальних чи громадських будівель, а також підземні простори самого «Бастіону», які офіційно внесені до інтерактивної карти захисних споруд міста Івано-Франківська. Перебування у відкритих зонах, поблизу скляних вітрин та пасивних фасадів під час тривоги категорично заборонено. Поновлення робіт дозволяється лише після офіційного сигналу «Відбій повітряної тривоги».

Під час розробки ґрунту під посадкові ями дерев-крупномірів або копання траншей під системи автоматичного крапельного поливу існує ймовірність виявлення застарілих боєприпасів (часів Першої або Другої світових воєн, які активно велися на Прикарпатті) або сучасних нерозірваних засобів ураження:

1. При виявленні будь-якого підозрілого металевого, циліндричного чи сферичного предмета, схожого на снаряд, міну, гранату, будь-які роботи в радіусі 50 метрів негайно припиняються.

2. Категорично забороняється торкатися, переміщувати, перекочувати, ударяти по предмету або намагатися самотійно очистити його від землі.

3. Керівник робіт забезпечує відведення персоналу на безпечну відстань, організовує візуальне позначення місця знахідки (за допомогою підручних засобів, кілків, стрічок), виставляє тимчасову охорону та негайно повідомляє екстрені служби за телефонами «101» (ДСНС) та «102» (Національна

поліція). До приїзду піротехнічної групи доступу сторонніх осіб до локації не допускається.

Враховуючи кліматичні тенденції регіону, проаналізовані в розділі 2 (раптові інтенсивні зливи, шквалистий вітер), на майданчику передбачено такі заходи:

1. При отриманні штормового попередження від регіонального гідрометцентру забороняється проведення будь-яких висотних робіт на фасадах та вантажопідйомних операцій із деревами при швидкості вітру понад 10-12 м/с.
2. Під час сильної грози та зливи персонал має схотися у капітальних будівлях. Забороняється перебувати поблизу поодиноких дерев, металевих риштувань та працювати з ручними машинами. Дренажні системи та відкоси незасипаних посадкових ям мають бути тимчасово захищені від розмиву поверхневим стоком за допомогою геотекстилю або поліетиленової плівки.

Розроблені заходи з охорони праці та цивільного захисту є невід'ємною частиною організації виробничого процесу, що гарантує збереження життя та здоров'я працівників і населення під час екологічної модернізації міського середовища Івано-Франківська.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на основі проведених теоретичних, натурних та інженерно-екологічних досліджень вирішено важливе науково-практичне завдання - обґрунтовано, розроблено та деталізовано комплекс природоорієнтованих рішень (Nature-based Solutions, NbS) на основі зеленої інфраструктури для кліматичної адаптації та зниження теплового й гідрологічного навантаження на історичне середмістя міста Івано-Франківська.

Результати проведеного дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Теоретично узагальнено науково-методологічні засади функціонування міської зеленої інфраструктури (ЗІ) як стратегічно спланованої мережі екологічних елементів. На основі міжнародної класифікації CICES доведено, що в умовах глобальних змін клімату пріоритетне значення для урбосередовища мають регулюючі та очисні екосистемні послуги. Встановлено, що інтеграція ЗІ за принципами зв'язності, багатофункціональності та кліматичної стійкості (resilience) є високоефективною альтернативою традиційній «сірій» інфраструктурі, що повністю відповідає вектору Європейського зеленого курсу та ініціативам Нового європейського Баугаузу.

2. Обґрунтовано біофізичні механізми терморегуляційного впливу міської рослинності, що реалізуються через процеси прямого затінення (shading) та евапотранспірації (evapotranspiration). Крони дерев виступають природними радіаційними фільтрами, здатними затримувати від 70 % до 90 % сонячного випромінювання, знижуючи температуру запечатаних поверхонь під пологом на 10-20 °С. Транспіраційні процеси, своєю чергою, забезпечують поглинання теплової енергії (близько 2,5 кДж на 1 г води), що трансформує міські насадження на автономні біологічні системи охолодження середовища.

3. За результатами екологічної оцінки та натурних обстежень ключових громадських просторів середмістя Івано-Франківська (Площа Ринок, підходи до Ратуші, Фортечна галерея «Бастіон») виявлено критичний рівень запечатування ґрунтів суцільним водонепроникним мощенням, який досягає 92-95 %. Це

призводить до інтенсивного формування ефекту міського «теплового острова» (UHI), внаслідок якого температура повітря в центрі міста під час літніх хвиль спеки перевищує показники приміських зон на 4,5-6 °С. Водночас зафіксовано незадовільний гідрологічний баланс території: відсутність умов для природної інфільтрації опадів зумовлює перевантаження застарілих систем зливної каналізації та регулярні локальні підтоплення.

4. Запропоновано та деталізовано три адаптивні проєктні рішення для ревіталізації та екологічної модернізації проблемних зон середмістя: Рішення №1 (Площа Ринок): Висадка великомірних «кліматичних» дерев із щільною архітектонікою крони для створення безперервних тіньових коридорів і зниження температури приземного шару повітря; Рішення №2 (Фортчна галерея «Бастіон»): Облаштування систем багаторусного вертикального озеленення фасадів та підпірних стін ліанами (із використанням інертних опорних сіток), що дозволить ізолювати будівельні конструкції від теплового нагріву, оптимізувати енерговитрати на кондиціонування та поглинати дрібнодисперсний пил (PM2.5, PM10); Рішення №3 (Деструктивні зони та зони хаотичного паркування): Трансформація асфальтобетонних пустирів у локальну мережу кишенькових парків (Pocket Parks) за принципом «зелених сходинок» (stepping stones) із впровадженням пермеабельного (проникного) мощення та інженерно-біологічних дощових садів для утримання й природної фільтрації до 70-90 % зливого стоку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf)
2. IPCC. AR6 Synthesis Report: Full Volume [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_FullVolume.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf)
3. European Commission. Green and Blue Infrastructures [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/glossary-item/green-blue-infrastructures\\_en](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/glossary-item/green-blue-infrastructures_en)
4. European Commission. Green Infrastructure [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en)
5. Interreg Central Europe. Green Infrastructure Definitions [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/Definitions.html>
6. European Environment Agency. Green Infrastructure [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://biodiversity.europa.eu/green-infrastructure>
7. UNEP. Primer 6: Nature-based Solutions in Urban Areas [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2023/11/Urban-areas-primer.pdf>
8. UN-Habitat. Integrating Nature-Based Solutions into Urban and Territorial Planning [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2025/12/nbs\\_integration\\_into\\_urban\\_and\\_territorial\\_planning\\_-\\_final.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2025/12/nbs_integration_into_urban_and_territorial_planning_-_final.pdf)
9. Climate-ADAPT. Urban Adaptation Policy [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/eu-adaptation-policy/sector-policies/urban/index\\_html](https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/eu-adaptation-policy/sector-policies/urban/index_html)

10. Climate-ADAPT. Case studies: Solutions for climate adaptation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/observatory/solutions/case-studies>
11. The Impact of Green Infrastructure on Mitigating Urban Heat Island [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1999-4907/16/9/1450>
12. Green Infrastructure for Urban Flooding: Knowledge Domains and Research Evolution (2015-2024) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2073-445X/14/5/921>
13. Urban greening for climate resilient and sustainable cities [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-cities/articles/10.3389/frsc.2025.1595280/full>
14. Harvard University. Urban Forestry is Climate Infrastructure [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://salatainstitute.harvard.edu/urban-forestry-is-climate-infrastructure-hiding-in-plain-sight/>
15. Climate & Clean Air Coalition. Ukraine [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.ccacoalition.org/partners/ukraine>
16. International Climate Initiative (IKI). Ukraine [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.international-climate-initiative.com/en/ukraine/>
17. UNEP FI. Urban Nature-Based Solutions Primer [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2023/11/Urban-areas-primer.pdf>
18. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/08/NatsionalnaPolitykaAdaptatsiyiDoZK\\_mozhlyvostiTaNapryamyRoboty.pdf](https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/08/NatsionalnaPolitykaAdaptatsiyiDoZK_mozhlyvostiTaNapryamyRoboty.pdf)
19. Кабінет Міністрів України. План виконання Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року [Електронний ресурс]. -

Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-skhvalyv-plan-vykonannia-stratehii-ekolohichnoi-bezpeky-ta-adaptatsii-do-zminy-klimatu-do-2030-roku>

20. Міністерство енергетики України. National Energy and Climate Plan 2025-2030 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://www.energy-community.org/dam/jcr:9d144283-08ed-410b-a670-7fd15c7782f2/1\\_NECP\\_EnMachineTranslation.pdf](https://www.energy-community.org/dam/jcr:9d144283-08ed-410b-a670-7fd15c7782f2/1_NECP_EnMachineTranslation.pdf)

21. Угода мерів. Питання та відповіді [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://enefcities.org.ua/ugoda-meriv/pytannya---vidpovidi/>

22. Decentralization.ua. Адаптація до зміни клімату: короткий путівник для громад [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://decentralization.ua/uploads/library/file/862/adaptation\\_municipalities.pdf](https://decentralization.ua/uploads/library/file/862/adaptation_municipalities.pdf)

23. Benedict M. A., McMahon E. T. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. - Washington : Island Press, 2012. - 320 p.

24. Gill S. E., Handley J. F., Ennos A. R., Pauleit S. Adapting cities for climate change: the role of green infrastructure // Built Environment. - 2007. - Vol. 33, No. 1. - P. 115-133.

25. Кучеренко М. В. Адаптація міських екосистем до глобальних змін клімату // Екологічні науки. - 2021. - №3 (34). - С. 45-51.

26. Шумик М. І., Колесніченко О. В. Зелена інфраструктура як основа сталого розвитку сучасного міста // Наукові доповіді НУБіП України. - 2022. - №4 (98).

27. Пилипенко Ю. В. Природоорієнтовані рішення в урбосистемі: теорія та практика впровадження // Український географічний журнал. - 2023. - №2. - С. 12-20.

28. Ткаченко В. А. Екосистемні послуги міських зелених насаджень в умовах кліматичного стресу // Вісник ХНАУ. Серія: Біологія. - 2024. - Вип. 1. - С. 89-97.