

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені
адмірала Макарова
Факультет економіки та екології моря

Кафедра екології та природоохоронних технологій

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



«4» грудня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

на тему: «ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ МІСТА-ГУБКИ ДЛЯ
ФОРМУВАННЯ НОВОЇ БЛАКИТНО-ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ»

Виконали: студенти

Загарнюк М. М., Мельничук В. В.

групи 6285м



(підпис)

Керівник роботи:

завідувачка кафедри, д.т.н., професор

(посада, науковий ступень вчене звання)



Трохименко Г. Г.

(підпис)

Миколаїв 20 24 р

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Факультет економіки та екології моря

Кафедра екології та природоохоронних технологій

Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

(підпис)

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студентам Загарнюку Миколі Миколайовичу та Мельничук Валентині
Володимирівні

(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Технологія створення міста-губки для формування нової блакитно-зеленої інфраструктури»

2. Керівник роботи Трохименко Г. Г.

Затверджені наказом ректора № __ від «__» листопада 20__ року

3. Термін подання роботи: 22.11.2024 р.

4. Вихідні дані по роботі: огляд літературних джерел

5. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

Розділ 1. Створення концепції «міста-губки» та її розвиток у світі.

Розділ 2. Підходи до створення «міста-губки».

Розділ 3. Основні концепції розвитку технологій, пов'язаних з біоретенцією.

Розділ 4. Споруди для очищення зливових вод.

Розділ 5. Результати практичної реалізації концепції міста-губки для сталого розвитку блакитно-зеленої інфраструктури.

Розділ 6. Економічна оцінка застосування різного типу зелених конструкцій для очищення зливових вод в умовах України.

Розділ 7. Охорона праці у лабораторії з дослідження хімічних показників дощових вод.

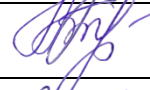
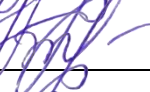
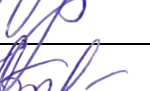
6. Перелік презентаційних матеріалів електронна презентація з 37 слайдів.

7. Виконання розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	<u>Трохименко Г. Г., професор</u>	06.09.2024 р.	23.10.2024 р.
II	<u>Трохименко Г. Г., професор</u>	09.09.2024 р.	02.11.2024 р.
III	<u>Трохименко Г. Г., професор</u>	11.09.2024 р.	12.11.2024 р.
IV	<u>Трохименко Г. Г., професор</u>	15.09.2024 р.	12.11.2024 р.
V	<u>Трохименко Г. Г., професор</u>	15.09.2024 р.	16.11.2024 р.
VI	<u>Літвак О.А., доцент</u>	15.09.2024 р.	18.11.2024 р.

8. Дата видачі завдання 15.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Підпис керівника
1.	Підготовчий етап: вибір теми, розроблення обґрунтування теми	червень 2024 р.	
2.	Проведення аналізу досліджень різних авторів	червень 2024 р.	
3.	Аналітичний етап – обробка та інтерпретація результатів власного дослідження	вересень 2024 р.	
4.	Опрацювання об'єктної частини дослідження (теоретичний етап)	вересень 2024 р.	
5.	Підготовка тексту магістерської роботи	вересень - листопад 2024 р.	
6.	Перевірка на наявність текстових збігів/ідентичності/схожості Із використанням програмно-технічного Засобу Антиплагіатної інтернет-системи Unicheck	17 листопада 2024 р.	
7.	Рецензування магістерської роботи	27 листопада 2024 р.	
8.	Попередній розгляд магістерської роботи на кафедрі	4 грудня 2024 р.	
9.	Офіційний захист магістерської роботи на засіданні АК	23 грудня 2024 р.	

Студенти _____
(підпис)

Загарнюк М. М.

(підпис)

Мельничук В. В.

(ПІБ)

Керівник роботи

(підпис)

Трохименко Г. Г..
(ПБ)

АНОТАЦІЯ

Зміна клімату, швидка урбанізація та неналежна політика містобудування в багатьох країнах призвели до виникнення проблем, пов'язаних з міськими водами, таких як повені, забруднення води та дефіцит води. Для вирішення цих проблем у різних країнах світу впроваджується спеціальна стратегія управління міськими водними ресурсами, відома як «Місто-губка». Це складний метод, який пов'язаний з багатьма проблемами. У дипломній роботі оцінюються підходи, пов'язані з традиційним управлінням міськими водними ресурсами. Потім ретельно розглядається концепція «міста-губки» та її впровадження з метою всебічної оцінки обмежень і можливостей. Виявляється, що «місто-губка» має чотири основні принципи: міські водні ресурси, екологічне управління водними ресурсами, зелена інфраструктура та міське водопроникне покриття.

Невизначеність у проєктуванні та плануванні такого міста, а також фінансова недостатність є найсерйознішими проблемами, які можуть поставити під загрозу провал концепції «міста-губки». Незважаючи на існування значних бар'єрів, можливості для реалізації «міста-губки» очевидні. Щоб отримати мульти-екосистемні послуги «міста-губки», його слід впроваджувати в масштабах водозбірного басейну і бути гнучким, залежно від різних рівнів прийняття рішень або характеристик водозбірного басейну.

Важливо застосовувати інтелектуальний механізм прийняття рішень і враховувати необхідність тісної співпраці між різними відомствами, з якими може працювати центральний уряд.

Ідеальним варіантом є гармонійне місто-губка відповідного розміру, що забезпечує хороший баланс між соціально-економічним розвитком і збереженням навколишнього середовища.

Дипломна робота містить 171 стор., 67 рисунків, 10 таблиць, 65 джерел інформації.

ABSTRACT

Climate change, rapid urbanization, and inappropriate urban planning policies in many countries have led to urban water-related problems such as flooding, water pollution, and water scarcity. To address these problems, a special urban water management strategy known as the “Sponge City” is being implemented in various countries around the world. It is a complex method that is associated with many problems. The thesis evaluates approaches related to traditional urban water management. Then, the “sponge city” concept and its implementation are carefully examined in order to comprehensively assess the limitations and opportunities. It turns out that the “sponge city” has four main principles: urban water resources, ecological water management, green infrastructure, and urban permeable pavement.

Uncertainty in the design and planning of such a city, as well as financial insufficiency, are the most serious problems that may threaten the failure of the “sponge city” concept. Despite the existence of significant barriers, the potential for implementing a sponge city is clear. To achieve the multi-ecosystem services of a sponge city, it should be implemented at the catchment scale and be flexible, depending on different levels of decision-making or characteristics of the catchment.

It is important to apply an intelligent decision-making mechanism and consider the need for close cooperation between different agencies, with which the central government can work.

The ideal option is a harmonious sponge city of an appropriate size, ensuring a good balance between socio-economic development and environmental conservation.

The thesis contains 171 pages, 67 figures, 10 tables, and 65 sources of information.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. СТВОРЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ «МІСТА-ГУБКИ» ТА ЇЇ РОЗВИТОК У СВІТІ	13
1.1 Виклики урбанізації у світі	13
1.2 Концепція міста губка	22
1.2.1 Визначення поняття.....	22
1.2.2 Основні цілі концепції.....	23
РОЗДІЛ 2. ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ «МІСТА-ГУБКИ»	31
2.1 Біоретенція.....	31
2.1.1 Базовий концепція.....	31
2.1.2 Основні категорії та придатність для застосування	32
2.1.3 Загальна структура.....	33
2.1.4 Контроль кількості дощової води	34
2.1.5 Контроль якості зливової води	36
2.1.6 Інші екологічні переваги	38
2.1.7 Потенційне забруднення та рішення.....	38
2.2 Ланцюг для очищення зливових вод.....	40
2.2.1 Основний опис	40
2.2.2 Основні методи поводження з дощовими стоками	41
2.2.3 Етапи обробки	41
РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ З БІОРЕТЕНЦІЄЮ.....	43
3.1 Фіторемедіація.....	43
3.2 Біоремедіація	45
3.3 Органічна речовина ґрунту	47
РОЗДІЛ 4. СПОРУДИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗЛИВОВИХ ВОД.....	55

4.1 Зелені дахи як один із ключових елементів міста-губки	55
4.1.1 Історія застосування	55
4.1.2 Основні категорії.....	56
4.1.4 Вимоги до проєктування	60
4.1.5 Основні переваги зелених дахів	61
4.1.7 Потенційне забруднення	62
4.2 Проникне покриття	63
4.2.1 Загальна структура водопроникної структури.....	63
4.2.2 Основні категорії.....	64
4.2.3 Робочі процеси	67
4.2.4 Основні переваги проникних покриттів	68
4.3 Плантатор.....	70
4.3.1 Основні категорії.....	70
4.3.2 Загальна структура.....	70
4.3.3 Придатність до застосування	71
4.3.4 Деталі конструкції.....	72
4.3.5 Вибір рослин.....	73
4.3.6 Основні переваги плантаторів	74
4.4 Фільтрувальні смуги та вали.....	75
4.4.1 Фільтрувальна смуга.....	75
4.4.2 Вал	77
4.5 Дощовий сад	82
4.5.1 Історія застосування. Базова структура дощового саду	82
4.5.2 Здатність до очищення забруднювачів.....	86
4.6 Ставок.....	89

РОЗДІЛ 5. РЕЗУЛЬТАТИ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ МІСТА-ГУБКИ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ БЛАКИТНО-ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

5.1 Загальна інформація про проєкт.....	94
5.2 Аналіз місця розташування.....	97

5.2.1 Інформація про місце розташування.....	97
5.2.3 Умови користування надрами	98
5.2.4 Забруднення повітря	98
5.2.5 Водне середовище.....	101
5.3 Проблеми з водою на ділянці	103
5.3.1 Причини водних проблем	103
5.3.2 Категорії забруднювачів води та джерела забруднення	105
5.4 Стратегії вирішення проблем	110
5.4.1 Натуралізація прибережної зони та зменшення непроникних поверхонь	111
5.4.2 Створення системи очищення зливових вод.....	113
5.5 Загальне планування та концепція міста-губки.....	115
5.5.1 Загальна концепція	115
5.5.2 Аналіз об'єктів	117
5.5.3 Деталі проєкту	119
5.5.4 Східний дощовий сад	124
5.5.5 Південний зелений парк.....	125
5.5.6 Пропозиції для проєктування приватної власності	130

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНОГО ТИПУ ЗЕЛЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗЛИВОВИХ ВОД В УМОВАХ УКРАЇНИ.....

132

РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ У ЛАБОРАТОРІЇ З ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДОЩОВИХ ВОД.....

142

7.1 Методика встановлення системи вентиляції в лабораторії	142
7.1.2 Розрахунок системи вентиляції в лабораторії.....	145
7.2 Види вентиляційних систем.....	147
7.3 Методика визначення освітлення в лабораторії	148
7.3.1 Розрахунок освітлення в лабораторії	150
7.4 Методика розміщення освітлювальних приладів	152
7. 4.1 Розрахунок розміщення освітлювальних приладів	154

7.5 Правила техніки безпеки у лабораторії вимірювання показників якості дощових вод.....	158
7.6 Правила пожежної безпеки	159
ВИСНОВКИ	161
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	164

ВСТУП

Актуальність роботи: Вода здавна відіграє важливу роль у повсякденному житті, особливо у сфері садового дизайну. У Східній Азії вода є одним з «чотирьох основних елементів», з яких складаються китайські класичні сади, що мають великий вплив на деякі інші азіатські садові стилі, наприклад, японські сади. Для стародавніх культур Близького Сходу, де зародилася ідея дизайну Близького Сходу, де зародилася ідея проєктування садів для розваг, вода була незамінним елементом в дизайні саду.

Люди захоплюються водними об'єктами з багатьох причин, таких як переваги транспорту, виробництва енергії та рекреації. З розвитком промислової революції, людина почала ставати все більш і більш потужною у контролі над водними ресурсами, водопостачанням. Наприкінці 19 століття «централізована система питного водопостачання та водовідведення» була введена в повсякденне життя людини «після руйнівних епідемій холери та тифу». Також у 19-му столітті «централізована система питного водопостачання та водовідведення. Також у цей період урбанізація призвела до того, що багато міст віддалилися від цієї важливої життєвої сили. Багато річок, струмків і потічків були перетворені на заселені землі завдяки соціальному розвитку. Виникаючі системи санітарії почали відігравати важливу роль у міському суспільстві [1, 2].

Зміна клімату, швидка урбанізація та неналежна політика містобудування в багатьох країнах призвели до виникнення проблем, пов'язаних з міськими водами, таких як повені, забруднення води та дефіцит води. Для вирішення цих проблем, наприклад, у Китаї з 2013 року впроваджується спеціальна стратегія управління міськими водними ресурсами, відома як «Місто-губка». Це складний метод, який пов'язаний з багатьма викликами. У дипломній роботі критично оцінюються підходи, пов'язані з традиційним управлінням міськими водними ресурсами. Потім

ретельно розглядається концепція «міста-губки» та її впровадження з метою всебічної оцінки обмежень і можливостей. Виявляється, що «місто-губка» має чотири основні принципи: міські водні ресурси, екологічне управління водними ресурсами, зелена інфраструктура та міське водопроникне покриття. Невизначеність у проєктуванні та плануванні «місто-губка», а також фінансова недостатність є найсерйознішими проблемами, які можуть поставити під загрозу провал концепції «місто-губка». Незважаючи на існування значних бар'єрів, можливості для реалізації «міста-губки» очевидні. Щоб отримати мульти-екосистемні послуги «міста-губки», його слід впроваджувати в масштабах водозбірного басейну і бути гнучким, залежно від різних рівнів прийняття рішень або характеристик водозбірного басейну. Важливо застосовувати інтелектуальний механізм прийняття рішень і враховувати необхідність тісної співпраці між різними відомствами, з якими може працювати центральний уряд [3, 4].

Урбанізація змінює характеристики міського транспорту, що призводить до збільшення викидів вихлопних газів, знос шин і гальм, а також витoki палива та мастильних матеріалів, які забруднюють дощові води, нафтові вуглеводні. Військові дії в Україні також значною мірою сприяють цій проблемі.

Військові дії в Україні призводять до неконтрольованих витоків паливно-мастильних матеріалів, які забруднюють стоки, переміщення та спалювання військової техніки та безпосередньо ведення бойових дій.

Вирішення проблем міського середовища вимагає зміни підходів до управління водними ресурсами в сучасних містах та переходу до більш ефективного управління водними ресурсами, водного господарства у сучасних містах і перехід від одних лише технічних засобів до комбінованого використання технічних засобів і води. Водне господарство в сучасних містах передбачає сумісне використання технічних і природних методів водовідведення. Одним із таких сучасних методів є використання зелених споруд, які поєднують живі рослини з інженерними системами. Це дозволить

ефективно збирати та покращувати якість проточної дощової води, запобігає підтопленню будівель і доріг, сприяє покращенню стану водних шляхів у містах, покращити стан річок у межах міст та забезпечити екологічні переваги, в т.ч очищення повітря та наближення міського середовища до природи.

Метою роботи є аналіз використання різного типу конструкцій для ефективного управління дощовими стоками в урбанізованому середовищі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Проаналізувати основні напрямки розвитку природоорієнтованих технологій і рішень для збільшення стійкості міст до затоплень.
2. Визначити можливість зелених конструкцій для створення новітньої міської інфраструктури та їхню роль у блакитно-зеленій економіці міст.
3. Здійснити класифікацію та детальну систематизацію зелених конструкцій.
4. Провести порівняльний аналіз різних типів конструкцій і видів «міста-губки», їхніх особливостей та оптимальних параметрів в залежності від вологості місцевості.
5. Оцінити можливість впровадження концепції міста-губка у реальному місті.
6. Провести економічну оцінку впровадження зелених ехнологій у будівництві для управління дощовими водами.

Об'єкт дослідження – процес формування зелених відновних конструкцій.

Предмет дослідження – технологія створення міста-губки як основи для впровадження новітньої інфраструктури міста і системи управління дощовими стоками.

РОЗДІЛ 1. СТВОРЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ «МІСТА-ГУБКИ» ТА ЇЇ РОЗВИТОК У СВІТІ

1.1 Виклики урбанізації у світі

Міста зазнають значного впливу зміни клімату. Урбанізація та індустріалізація разом з політикою відкритості із середини 20 століття призвели до швидкого економічного та міського зростання, наприклад такої країни як КНР, а рівень урбанізації становить 64,7% (2021 рік) [3]. Урбанізовані регіони та серйозно швидко мінливий клімат, що загрожує життю та та здоров'ю людей, інфраструктурі та майну, а також екосистемам та природі. Підвищена мінливість і більш екстремальні погодні явища призводять до частіших і сильніших повеней з більшими людськими та економічними втратами. Зростає кількість циклонів, зсувів, спеки, посух і опустелювання, а також підвищення рівня моря, що негативно впливають на життєдіяльність та місцеву економіку. Ризики стихійних лих посилюються через нераціональне землекористування та міську забудову на територіях, схильних до повеней у районах, схильних до повеней, та неінтегровані структури захисту від повеней на противагу управлінню ризиками повеней на рівні водозбірних басейнів.

У майбутньому очікується, що паводки будуть ще частішими і сильнішими [5, 6].

Розрізняють три типи затоплень:

- Підтоплення міст (плювіальні підтоплення). Покриття землі дорогами, будівлями та непроникним твердим покриттям зменшує
- Природна інфільтрацію, що збільшує стік дощової водита зливових вод.
- Розливи річок (флювіальні повені). Випрямлення річок за допомогою

твердих насипів і стін, а також новими дорогами, що обмежують простір і зменшують пропускну здатність річок, збільшує ризик раптових повеней нижче за течією.

- Прибережні повені, штормові нагони і циклони. Прибережний регіони країн найчастіше сильно урбанізовані і включають в себе низько розташовані мегаполіси.

За останні 20 років почастишали циклони, а швидкість танення полярних льодів свідчить про те, що підвищення рівня моря буде швидшим, ніж передбачалося раніше.

Поступово зростає концентрація населення в міських районах. І це призводить до того, що понад половина населення планети тепер класифікується як міське [1]. Очікується, що міське населення світу зросте з 4,4 мільярда у 2024 році до 6,7 мільярда у 2050 році [2]. Отже, відбувається значне зосередження великої кількості об'єктів нерухомості та капіталу в усе більш щільно забудованих міських регіонах.

Наслідки урбанізації значні та суперечливі (рис. 1.1). З одного боку, урбанізація - це рушійна сила, що сприяє швидкому економічному зростанню країн, підвищенню конкурентоспроможності міст, залученню більше людей до зайнятості та туризму, а також притоку капіталу, технологій та талантів.

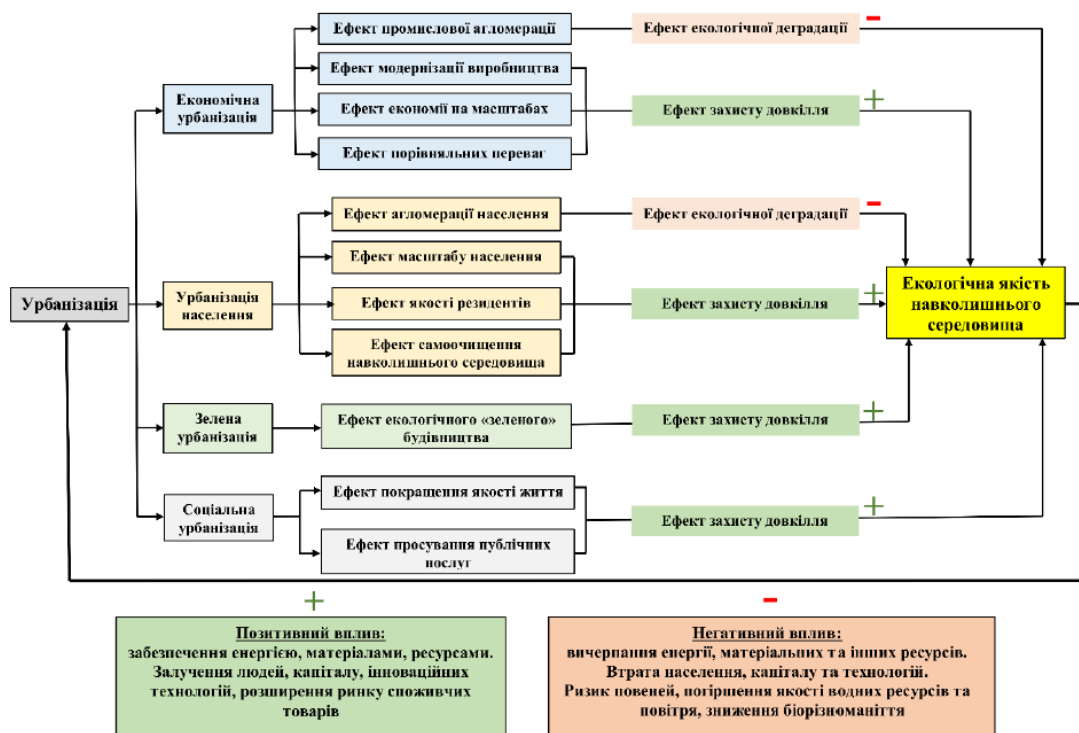


Рис. 1.1 Взаємодія між процесами урбанізації та довкіллям.

Урбанізація стимулює інвестиції в інфраструктуру, розширює ринок споживчих товарів завдяки зростанню доходів населення та заохочує розвиток сучасних послуг, що призводить до перебудови та модернізації промислової структури [7]. З іншого боку, занадто швидке розширення урбанізації, що перевищує асиміляційну здатність екологічного середовища, може спричинити серйозні екологічні та соціальні проблеми, прискорюючи глобальні екологічні зміни [8, 9]. Це підриває екологічну безпеку, оскільки призводить до деградації природних ресурсів, знищення біорізноманіття та погіршення якості повітря і води [8]. Одним з основних негативних наслідків урбанізації є ущільнення та зміна ґрунтового покриву, спричинені антропогенними проєктами, які призвели до значних порушень природних гідрологічних умов та збільшення ризику підтоплень у великих містах через перешкоджання стоку дощової води (Рис. 1.2)[9].

Зливовий стік - це вода, яка стікає по поверхні, не проникаючи в ґрунт, в результаті випадання опадів або танення снігу. У сільській місцевості обсяг

зливового стоку становить менше 20% від середньорічної кількості опадів, але в містах цей показник зростає до 60-70% [10]. Оскільки глобальний процес урбанізації продовжує розвиватися, його вплив на зміну клімату стає все більш відчутним. Це стосується таких явищ, як ефект міського теплового острова, екстремальна спека та перенаселеність міст. Водночас, глобальна зміна клімату змінює просторово-часовий розподіл опадів, так що більша інтенсивність зливового стоку, яка зараз спостерігається в більшості країн світу, в тому числі і в Україні, є наслідком процесу урбанізації водозбірних територій, що супроводжується збільшенням частки водонепроникних поверхонь. Дощі часто мають зливовий характер, 3/4 середньомісячної кількості опадів випадає протягом 30 хвилин.

Це означає, що дощі стають рідшими, але інтенсивнішими. Взаємодія непроникних ділянок з екстремальними та інтенсивними опадами призводить до локальних підтоплень та збільшення швидкості поверхневого стоку води [9,10]. Для часткового вирішення цієї проблеми використовують традиційні дренажні системи, які відводять дощову воду з ущільнених поверхонь до централізованої каналізації, очисних споруд або найближчих водойм. Однак термін експлуатації цих інфраструктурних систем, як правило, перевищує запланований період, а капітальний ремонт вимагає великих витрат на матеріали та поточне обслуговування. Як наслідок, під час сильних дощів ці споруди, як правило, не справляються з великими піковими потоками, що часто призводить до їх переповнення та підтоплення.

Міські райони, які мають лише каналізаційні системи, що збирають дощові та стічні води і відводять їх на очисні споруди, перебувають у ще складнішій ситуації. Будь-яке раптове збільшення поверхневого стоку під час сильних дощів викликає локальні підтоплення і паралізує роботу всієї системи (Див. рис. 1.2).



Рис. 1.2 Затоплення різних міст із-за переповнення каналізаційної системи:
 а) м. Бровари (Україна); б) м. Салонік (Греція); в) м. Київ (Україна)

На жаль, виправити ситуацію в короткостроковій перспективі неможливо, оскільки підвищення ефективності системи поверхневого водовідведення в кращому випадку є дуже складним і дорогим завданням.

Значною мірою це пов'язано з високою щільністю міської забудови і тим, що каналізаційні системи прокладені глибоко під землею.

Проблема поглиблюється тим фактом, що в старих дренажних системах часто відсутні ефективні механізми фільтрації, які могли б вловлювати забруднювальні речовини й очищати дощову воду, що призводить до забруднення підземних та поверхневих вод, у басейні яких розташовані відповідні міста. Оскільки глобальне потепління триває, екстремальні погодні явища поряд з урбанізацією створюють вищі ризики

для людей та екологічних систем. Наприклад, прогнозовані зміни тривалості посушливих періодів між опадами негативно впливають на якість зливових вод. Тривалі періоди посухи збільшують накопичення частинок і токсичних забруднювальних речовин на непроникних міських поверхнях, а інтенсивні опади переносять великі кількості забруднювальних речовин у водойми через зливі стоки. Це збільшує ризик потрапляння забруднювальних речовин у водоприймачі та обмежує можливість прямого повторного використання зливових вод. Вивчення якості міського зливого стоку, що є важливим аспектом управління якістю поверхневих і підземних джерел, почалося в середині XX століття, і автори роботи [11] були одними з перших, хто зацікавився цим питанням.

Пізніші дослідження були зосереджені на традиційних забруднювачах, таких як

такі як загальна кількість завислих речовин (TSS) [12], хімічна або біохімічна потреба в кисні [13], метали (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb і Zn) [14], патогенні мікроорганізми [15] і поживні речовини (N і P) [16, 17]. Поточні дослідження часто підтверджують попередні висновки щодо основних забруднювачів міських зливових вод і підкреслюють існування нових речовин, включно з пестицидами [18], мікропластиками [19] та органічними забруднювачами (ОЗЗ), такими як вуглеводні, поліциклічні ароматичні сполуки (ПАВ) [20] та фталати [20, 21, 22], алкілфеноли [23,24], нафтові вуглеводні, повсюдно присутні у міських зливових стоках [21,25]. Урбанізація міст також призводить до зміни характеристик міського транспорту за рахунок збільшення обсягу міського руху та поширення заторів.

Міський транспорт є джерелом великої кількості органічних забруднювачів. Це, зокрема, викиди вихлопних газів, зношення шин і гальм, розливи та витіки паливно-мастильних матеріалів, які забруднюють зливі води за рахунок надходження нафтових вуглеводнів (НВ) із дизельного

пального, бензину та відпрацьованого моторного мастила [26]. Ці води стікають з доріг, заправок і станцій технічного обслуговування.

Концентрація ГБ у зливових стоках зазвичай коливається від 0,2 до 277 мг/дм³ [24]. Слід підкреслити, що самі непроникні поверхні також можуть бути джерелами забруднюючих речовин, оскільки дорожні покриття на основі кам'яновугільної смоли, за оцінками, є значним джерелом поверхнево-активних речовин у навколишньому середовищі [27].



Рис. 1.3. Приклади локального розливу ПММ на асфальтове покриття

Значний внесок у цю проблему на території України вносять також воєнні дії, наслідки яких спричинені неконтрольованими витоками пального та нафтопродуктів унаслідок пожежі складів ПММ (рис. 1.4), переміщенням і займанням військової техніки та безпосередньо веденням бойових дій. В Україні військові дії пошкодили міську інфраструктуру, особливо зливову каналізацію.

У зв'язку з потребою фронту в надійному транспорті дороги міста переорюються застарілою технікою з небувалими витоками паливно-мастильних матеріалів на шосейні дороги. Дощі спричиняють повені в містах, і ці скиди, а також частина міських відходів змиваються в річки та ґрунтові води, спричиняючи значне забруднення довкілля.



Рис. 1.4 Нафтові плями внаслідок влучання ударних дронів РФ по нафтобазі, Харків, 9 лютого 2024. Фото: Дмитро Гребінник/Суспільне Харків

Мислення губчастого міста знаменує собоюзначний відхід від традиційної «сірої інфраструктури» - уявіть собі бетонні труби і дамби - до «зеленої», або природної інфраструктури, такої як дощові сади та ліси. Підхід «місто-губка має на меті відновити деякі з цих природних функцій, дозволяючи міським територіям перетворити загрозу зливових вод на благо: додаткову воду для посушливих періодів.

Наприкінці 2013 року президент Сі Цзіньпін офіційно схвалив концепцію міста-губки, а наступного року Міністерство житлового будівництва та розвитку міст і сіл випустило набір технічних рекомендацій, спрямованих на забезпечення того, щоб 70 відсотків поверхневого стоку було зібрано на місці на місці. Центральний уряд також запустив пілотну програму для 30 міст - програму для перевірки цієї концепції.

Шеньчжень - одне з пілотних міст, і це не випадково, що концепція міста-губки отримала тут більшу підтримку, ніж будь-де деінде в Китаї. Від фінансової політики до технологічного Шеньчжень завжди був дуже охочим

запозичувати ідеї з-за меж Китаю і випробовувати їх на практиці», - каже Цинь. Ідея міста-губки не є винятком. «Спочатку це були лише розрізнені пілотні проєкти, але зараз концепція включена до генерального плану Шеньчженя».

У цьому випадку Цинь та його студенти намагаються дізнатися більше про методи створення зелених дахів, використовуючи рослини, вирощені в середовищі легкого штучного ґрунту, що вловлює дощ там, де він падає, а потім повільно випускають його назовні.

Такі методи «дуже схожі на природні системи», - каже Цинь. «Природні системи виглядають дуже простими, але процеси в них дуже складні. Тож ми намагаємося зрозуміти ці процеси».

1.2 Концепція міста губка

1.2.1 Визначення поняття

Найперша версія концепції «губчастого міста» була використана в статті під назвою «Sponge Cities and Small Towns: a New Economic Partnership» [7], яка була опублікована в 2005 році, де описані зв'язок між урбанізацією та населенням. У 2013 році в на Центральній робочій конференції Китаю з урбанізації була концепція «міста-губки» знову запропоновано з новою конотацією як «нова програма розвитку міст для ефективно управляти міською дощовою водою» [8]. Тому термін «місто-губка» з'явився по-новому визначення як «міста, які здатні гнучко, як губки, адаптуватися до змін у середовища, таким чином, що вони поглинають, зберігають, проникають і очищають дощову воду, і здатні використовувати накопичену воду, коли це необхідно» (рис. 1.5).

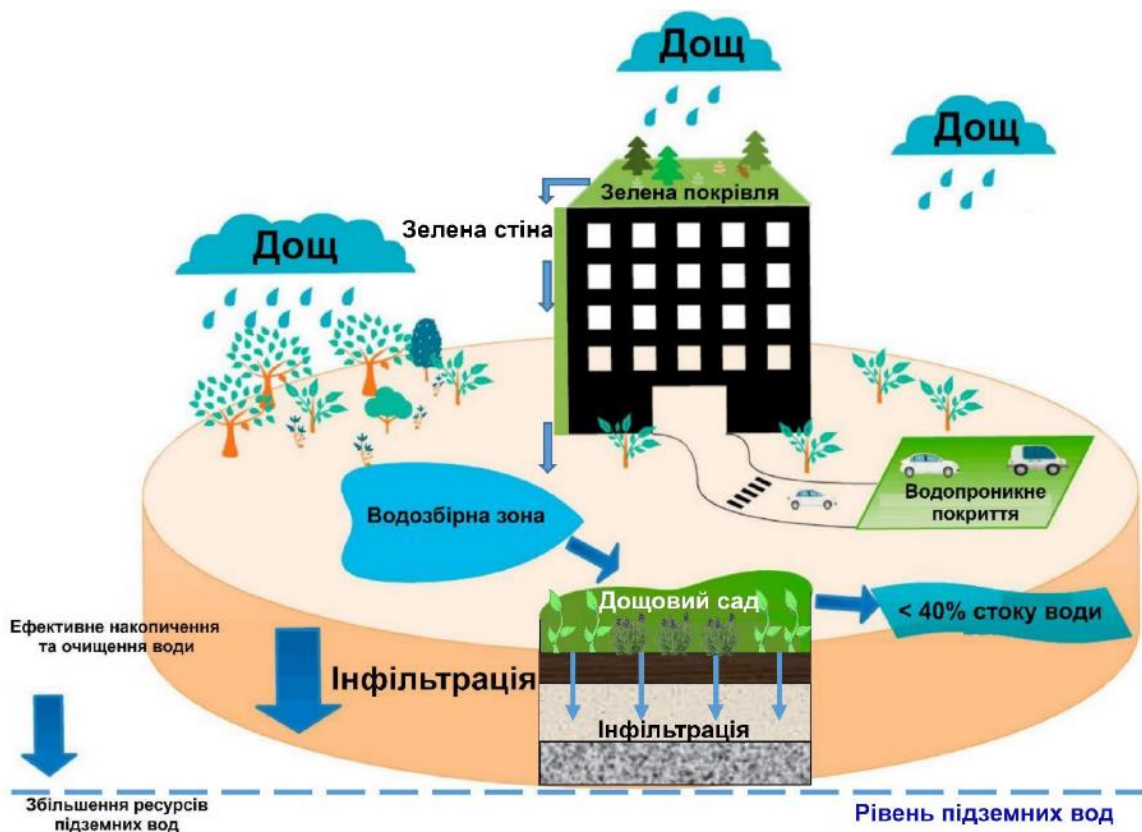


Рис. 1.5 Типова концепція міста-губки

Нове визначення поняття «місто-губка» має схожу конотацію з деякими іншими концепціями, які також використовуються в різних регіонах світу, такими як «Розвиток з низьким впливом на навколишнє середовище» (США та Канада), «Синьо-зелена інфраструктура» (США), «Найкращий розвиток» (США та Канада), «Найкращі практики управління» (США), «Водно-чутливий міський дизайн» (Близький Схід та Австралія), «Сталий розвиток міст» (США), «Зелена інфраструктура» (Канада), «Сталі міські дренажні системи» (Великобританія), «Синьо-зелені рішення» (ЄС) тощо.

1.2.2 Основні цілі концепції

Згідно з документом «Sponge City» Concept Helps Solve China's Urban Water Problems», концепція губчатого міста має три основні цілі [8]:

1. Збереження первинних водних об'єктів та інших природних ресурсів у стійкий спосіб, що означає використання стійких методів для захисту водних об'єктів, таких як струмки, річки, ставки та озера, від забруднення та інших видів шкоди, особливо тих, які спричинені будівництвом у міських районах;

2. Відновлення забруднених або пошкоджених водних тіл та інших природних ресурсів екологічним шляхом, що означає застосування екологічних рішень для відновлення ушкоджень, завданих природному ландшафту в результаті процесу урбанізації;

3. Застосування концепції «розвитку з низьким рівнем впливу», що означає поєднання ряду методів очищення зливових вод із процесами урбанізації для створення екологічного та економічного шляху розвитку.

1.2.3 Процес реалізації цілей

Щоб виконати ці три цілі, концепція губчатого міста реалізується через шість процесів, які описано нижче [9]:

1. Інфільтрація дощової води: природні поверхні були замінені непроникними поверхнями під час розвитку урбанізації, і концепція

губчатого міста спрямована на перетворення непроникних поверхонь назад у водопроникні поверхні, які дозволяють воді інфільтрацію під час та після дощів;

2. У міських районах легко накопичувати велику кількість стоку, що призводить до проблем із затопленням, а концепція губчатого міста має на меті уповільнити стік за допомогою серії методів очищення зливових стоків, щоб можна було зменшити максимальний потік стоку;

3. Зберігання дощової води: традиційним способом управління зливовою водою є транспортування її через місцеві дренажні системи до приймальних вод, і коли кількість дощової води перевищує пропускну здатність дренажних систем, перелив спричинить кілька проблем, тоді як у губчастому місті система, дощова вода може зберігатися в ряді очисних споруд зливової води, таким чином зменшуючи об'єм стоку та готуючи її для майбутнього використання;

4. Очищення дощової води: як згадувалося вище, дощова вода відводиться безпосередньо в комбіновані дренажні системи в деяких міських районах, а стічні води переливаються з дренажних систем під час зливових вод, що призводить до проблем із забрудненням води, тоді як губчасті міські системи спрямовані на збільшення природної інфільтраційної здатності дощової води шляхом відведення дощової води з каналізаційних систем через рослинність, ґрунт та інші природні простори для уловлювання, фільтрації та вивільнення надлишку дощової води, перш ніж вона буде спрямована в приймальні води, таким чином покращення якості води в природних водоймах;

5. Використання дощової води: у традиційних системах управління зливовою водою дощова вода розглядається як стічна вода та зливається, але в губчастих міських системах дощова вода розглядається як ресурс, який можна спрямовувати для доповнення ресурсу підземних вод або зберігати в різних зборах дощової води.

системи для майбутнього повторного використання протягом сухих сезонів;

6. Скидання дощової води: щоб вирішити проблеми транспортування дощової води в міських районах, концепція губчастого міста також спрямована на оновлення міських дренажних труб, з'єднання природних систем водопостачання та розділення систем поверхневого дренажу та підземних систем трубопроводів, щоб, якщо дощова вода не могла бути повністю поглиненою, якнайшвидше відбувається її скид через розділені та високопродуктивні дренажні системи.

Таким чином, основна концепція «міста-губки» використовується для пом'якшення п'яти основних проблем в галузі управління зливовими водами міських територій: нестача води, заболочування, забруднення води, екологічна деградація та так званий «синдром міста» [61]. Одним з найважливіших методів методом створення подібних смарт-міст є інтеграція зелених насаджень із класичною сірою інфраструктурою для формування новітньої блакитно-зеленої інфраструктури (рис. 1.6).

Синьо-зелена інфраструктура - це поєднання водних і рослинних рішень для подолання наслідків урбанізації та зміни клімату. Цей підхід об'єднує як природні елементи, такі як річки та водно-болотні угіддя, так і штучні, такі як зелені споруди. У міському середовищі синьо-зелена інфраструктура поєднується з традиційними сірими дренажними системами для ефективного управління водними ресурсами. Цей підхід визнаний міжнародними організаціями та програмами, такими як Європейська комісія та Міжурядова група експертів з біорізноманіття та екосистемних послуг, як природоорієнтоване рішення для міст, поряд з програмами адаптації та стійкості.

Системи сірого водовідведення призначені для збору та відведення зливових вод, зберігаючи при цьому безпечні умови руху. З іншого боку, зелена інфраструктура використовує рослини, ґрунти та піщані фільтри для

фільтрації та утилізації поверхневих стоків. Прикладами зеленої інфраструктури є дощові сади, зелені тротуари та зелені стіни. Загалом, синьо-зелена інфраструктура пропонує інтегрований і сталий підхід до управління водними ресурсами в містах.

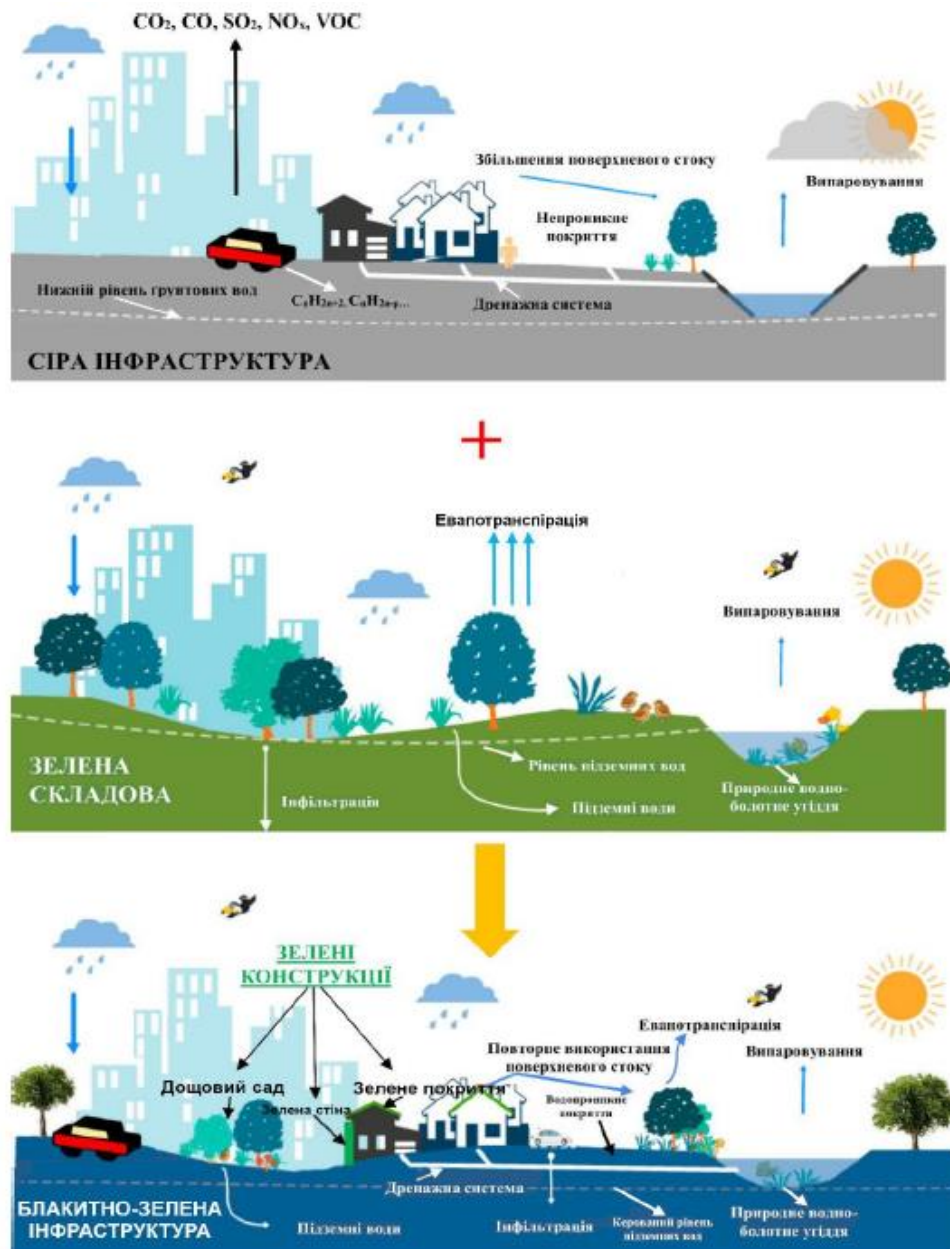


Рис. 1.6 Поєднання сірої та зеленої інфраструктури для створення блакитно-зеленої інфраструктури на основі природоохоронного підходу

Інтегроване управління водними ресурсами - це сучасний підхід до вирішення кількох міських проблем одночасно. Він дозволяє ефективно

боротися з ризиком повеней, забрудненням та ефектом міського острова тепла, а також з очищенням та повторним використанням води, збереженням біорізноманіття та створенням синьо-зелених рекреаційних просторів.

Підходи «сірий+зелений» допомагають пом'якшити або компенсувати негативний вплив «сірої» інфраструктури. Водночас вони зменшують економічну невизначеність, яка може виникнути через використання лише зелених рішень.

З точки зору управління зливовими водами в міському середовищі, виділяють основні принципи, які лежать в основі функціонування міста-губки, як показано на рисунку 1.7.

Як показано на схемі, основні елементи зеленої інфраструктури - зелені споруди - відіграють важливу роль, безпосередньо сприяючи поглинанню та утриманню дощової води, зменшенню поверхневого стоку та покращенню якості води.



Рис. 1.7 Принципи функціонування міста-губки [61]

Концепція інтеграції зелених споруд у міський ландшафт дозволяє включати точкові, лінійні або поверхневі системи залежно від їхньої форми

та розташування. Імітуючи природні процеси, ці структури формують екологічні коридори, які мають лінійну природу і покращують міське середовище. Прикладами зелених структур є тротуари, стіни та дощові сади, які виконують різні функції, такі як поглинання дощової води та забезпечення екологічних, соціальних та економічних переваг.

Система не тільки зосереджена на просторовій організації, але й використовує багаторівневий підхід до реалізації. Це включає в себе мікро-рішення в менших масштабах, такі як індивідуальні системи збору дощової води, а також макромасштабні рішення, що застосовуються у великих житлових комплексах, мікрорайонах і міських генеральних планах (рис. 1.8).



Рис. 1.8 Рівні інтеграції зелених конструкцій у блакитно-зелену інфраструктуру міста

Отже, існує п'ять основних рівнів впровадження зелених конструкцій: від окремого житлового будинку до міста.

Для впровадження таких конструкцій в Україні необхідно розробити та реалізувати програму інтеграції сірої та зеленої інфраструктури для перетворення її в блакитно-зелену інфраструктуру.

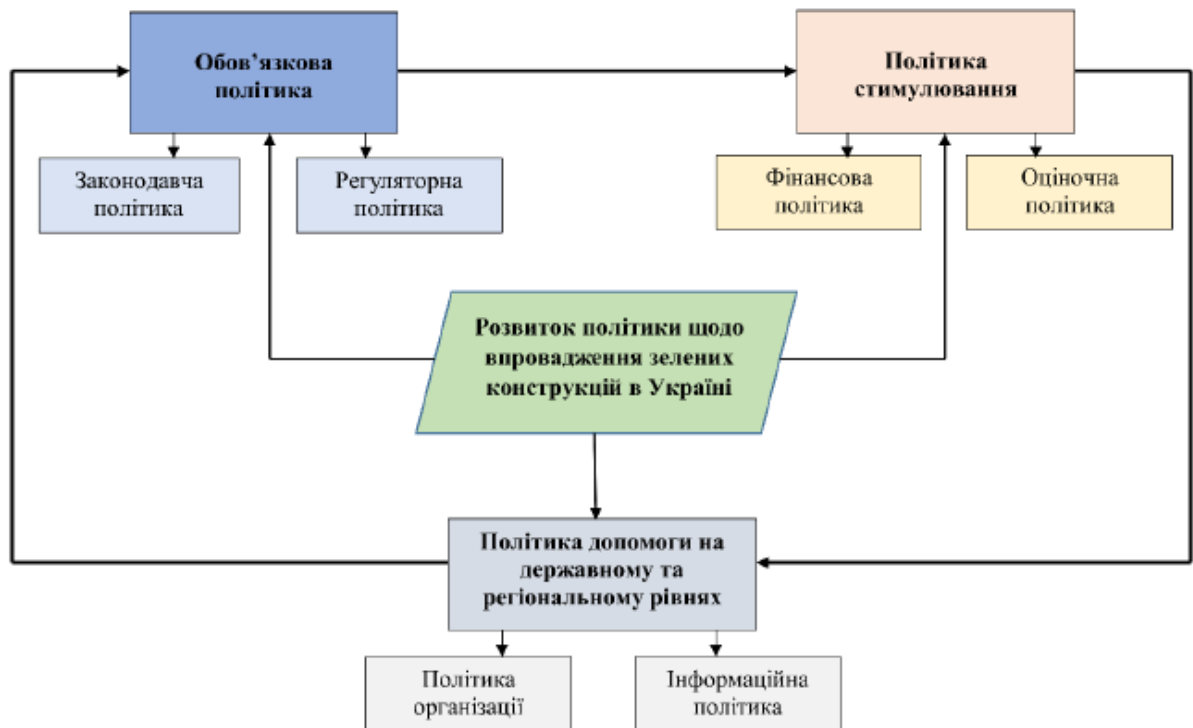


Рис. 1.9 Система заходів для розвитку синьо-зеленої інфраструктури в Україні [63]

Зважаючи на те, що Україна займає провідні наукові позиції у дослідженні зелених конструкцій, виникає необхідність розробки нової нормативної бази.

Перші кроки в цьому напрямку вже зроблені: група розробників під керівництвом професорки Тетяни Ткаченко підготувала проєкт першого ДСТУ Б В.Х.Х-ХХ:202Х «Захист довкілля. Зелені конструкції. Метод випробування тепломасообмінних процесів у рослинних шарах». Цей стандарт визначає вимоги до лабораторних досліджень газообміну в рослинах, опору теплопередачі та охолоджувального ефекту рослинного шару на зелених покриттях, а також для вертикального й горизонтального озеленення з використанням в'юнких та ґрунтопокровних рослин [62].

Крім того, цією ж групою авторів підготовлено проєкт ДСТУ Б В.Х.Х-

XX:202X «Захист довкілля. Зелені конструкції. Технічні умови». Основні розділи цього стандарту охоплюють класифікацію, цілі та сфери застосування зелених конструкцій; вимоги до конструктивних елементів зелених покриттів; вимоги до озеленення фасадів; озеленення забудованих міських територій зеленими конструкціями, а також заходи щодо підвищення енергоефективності та збереження ресурсів через використання зелених конструкцій [63].

РОЗДІЛ 2. ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ «МІСТА-ГУБКИ»

2.1 Біоретенція

2.1.1 Базовий концепція

Основна ідея концепції «міста-губки» полягає у застосуванні «біоретенції» (також відомої як «біофільтрація»). Біоретенція - це наземна практика, що використовує хімічні, біологічні та фізичні властивості рослинності, мікроорганізмів і ґрунту для вирішення проблем з водою, включаючи її якість і кількість на цільовій території. На практиці біоретенція застосовує модель, яка забезпечує місця для збору, інфільтрації, фільтрації, затримання, зберігання і відведення стоку за допомогою рослин, ґрунтів і мікроорганізмів, або так звана концепція «дощового саду» (рис. 2.1)

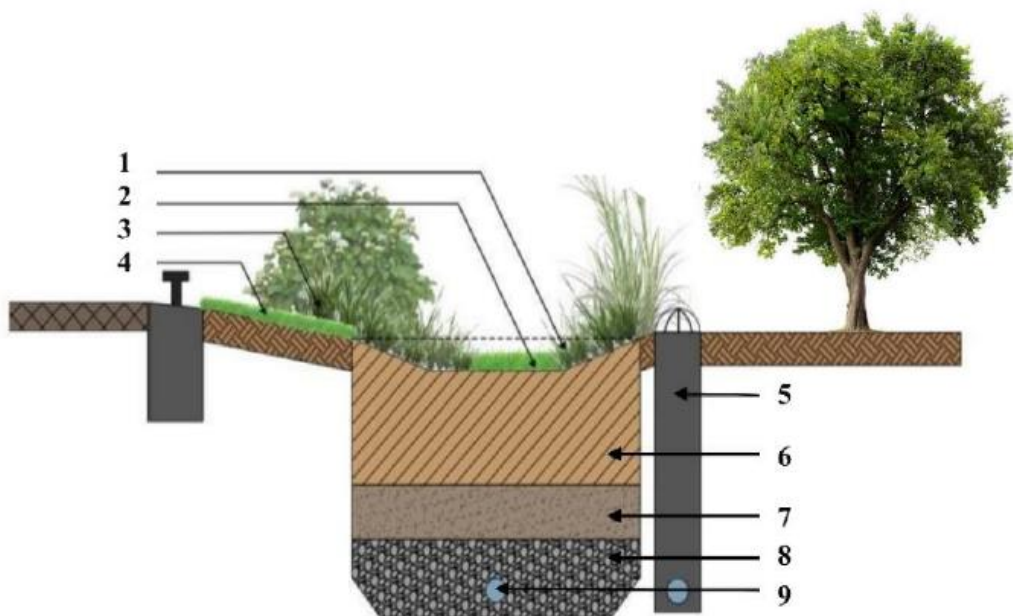


Рис. 2.1 Основні елементи конструкції дощового саду – поперечний переріз [10]:

1 – зона заглиблення для збору та утворення стовпа дощової води; 2 – шар ґрунтопокривних матеріалів (мульча); 3 – рослинний шар; 4 – трав'яний покрив; 5 – система переливу; 6 – верхній ґрунтовий шар (для висадки рослин); 7 – проміжний інфільтраційний шар; 8 – гравійний шар; 9 – дренажна система

2.1.2 Основні категорії та придатність для застосування

Загалом, існує три типи систем біоретенції: «система повної інфільтрації», без підземного дренажу, «система часткової інфільтрації» з підземним дренажем (Рис. 2.2 а - г).

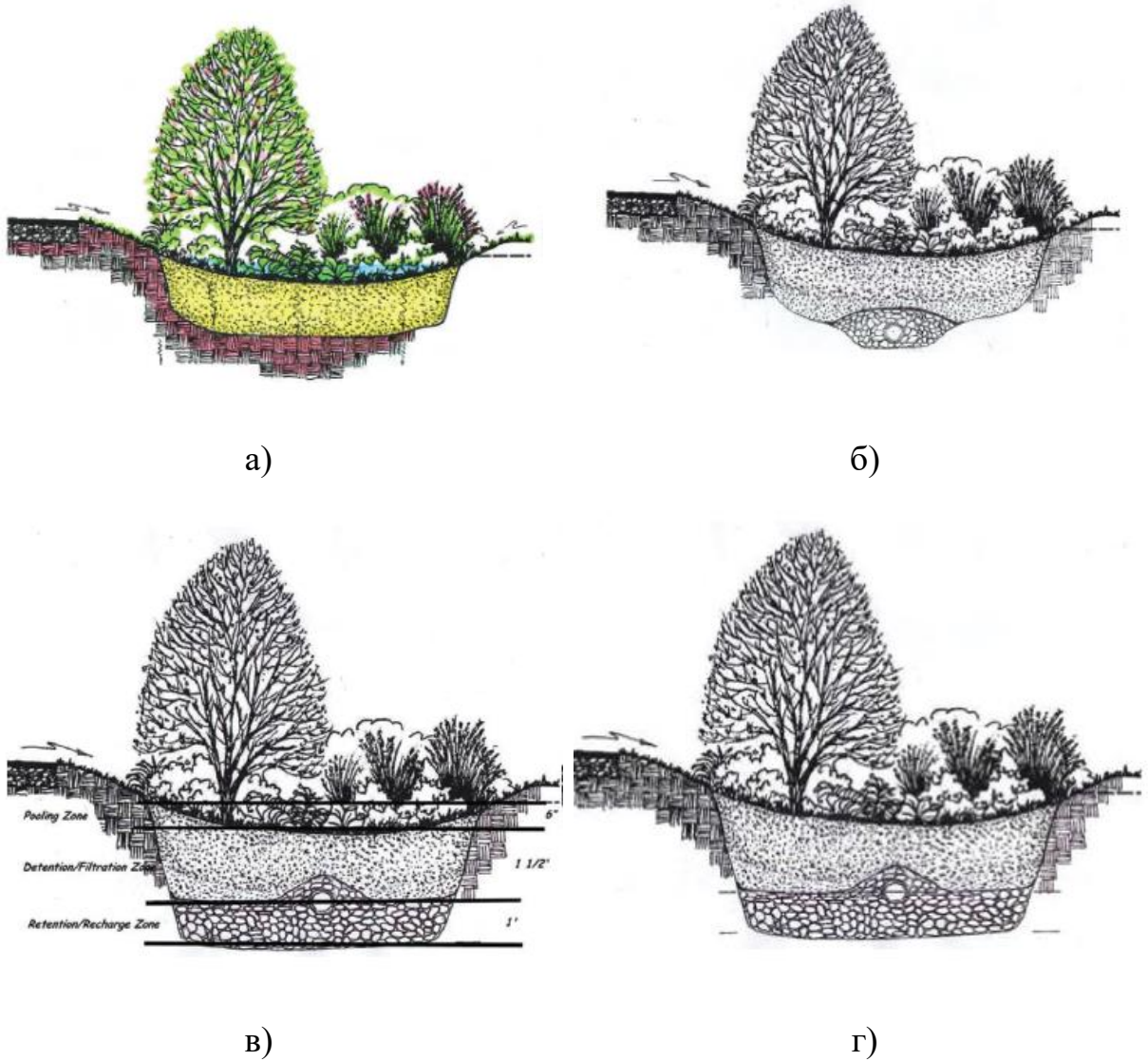


Рис. 2.2 Системи біоретенції:

- а) повної інфільтрації;
- б) система часткової інфільтрації;
- в) без підземного дренажу;
- г) денітрифікаційна система

Зокрема, біоретенційні споруди з повною інфільтрацією підходять для територій, що генерують стік поживних речовин, таких як житлові забудови

та ділові кампуси; часткові інфільтраційні біотенки підходять для зон, що генерують навантаження поживними речовинами та металами, таких як автостоянки, житлові та ділові кампуси; безінфільтраційні біотенки не підходять для гарячих точок, таких як перевантажувальні майданчики, заправні станції та транспортні склади.

Крім того, у Посібнику з біоретенції згадується ще один тип системи біоретенції, в якій під піднятою підземною зливною трубою в системі часткової інфільтрації додається аеробна/анаеробна зона, що може змінюватися (Рис. 2.2 г). Цей тип підходить для зон з високим рівнем забруднення поживними речовинами (особливо нітратами), таких як житлові райони приватного сектору, міські або селищні, оскільки нітрати можна зменшити за допомогою деяких природних процесів денітрифікації, що досягається завдяки коливанням, які створюються інфільтрацією та насиченням оточуючого ґрунту.

2.1.3 Загальна структура

Типові конструктивні шари системи біоретенції зверху донизу виглядають наступним чином:

1. Рослинний шар, де знаходиться надземна частина рослин;
2. Ставкова зона (необов'язкова), де вода затримується на тривалий період;
3. Шар мульчі (необов'язково) для захисту ґрунту;
4. Живильне середовище, яке складається з підібраного ґрунту для підтримки росту коренів рослин;
5. Геотекстильний фільтр (необов'язковий), який розділяє ґрунт і дренажний шар, а також відіграє роль фільтра забрудненої води;
6. Дренажний шар (опціонально), який складається з гравійного фільтра та дренажної труби;
7. Водонепроникний шар (необов'язково), який є непроникним вкладишем для запобігання інфільтрації води (в системі «без інфільтрації»).

Проміжний інфільтраційний шар забезпечує підвищення ефективності

водопроникності верхнього ґрунтового шару, оскільки він є ключовим для процесу інфільтрації [9]. Піщаний ґрунт має низьку водоутримувальну здатність та високу пористість [10], тому в багатьох країнах з високою річною кількістю опадів використовуються піщані та супіщані середовища або дрібнодисперсний гравій для прискорення інфільтрації [11]. Використання глинистого або суглинкового ґрунту може призвести до низької швидкості інфільтрації, накопичення забруднювачів та руйнування системи дощового саду через зменшення пористості ґрунту [11]. Крім того, проміжний шар має бути добре дренажним і достатньо міцним, щоб витримати вагу верхніх шарів. Пористість цього шару повинна становити 20-40%, а його глибина – 20-60 см [12].

Нижній дренажний шар складається з гравію від середнього до крупного і призначений для утримання та тимчасового зберігання води, а потім скидання її в дренажну систему. Товщина гравійного шару може бути розрахована у залежності від щільності інфільтраційного шару, але має бути не менше 30 см.

Окрема зона на поверхні конструкції дощового саду призначена для збору зливових стоків з водозбірної зони та дощової води під час випадання опадів. У цій зоні утворюється водяний стовп, в залежності від інтенсивності дощу та гідравлічної проникності системи (рис. 2.3).

2.1.4 Контроль кількості дощової води

Однією з головних цілей концепції губчастого міста є боротьба з надлишковим стоком у деяких цільових районах. Ця мета буде досягнута за допомогою практик біоутримання за допомогою таких процесів:

1. Перехоплення – листя або стебла рослин, а також ґрунти співпрацюють, щоб захоплювати опади чи стік, а також збирати або об'єднувати воду в системі біоутримання;
2. Інфільтрація – вода рухається вниз через ґрунти;

3. Випаровування – вода випаровується назад в атмосферу з поверхні рослин і ґрунту;

4. Транспірація – вода рухається вгору з ґрунту, через рослини, назад в атмосферу. (Більшість води, захопленої рослинами, буде виведено в атмосферу під час цього процесу. Випаровування та транспірація також поєднуються разом і відомі як евапотранспірація.)

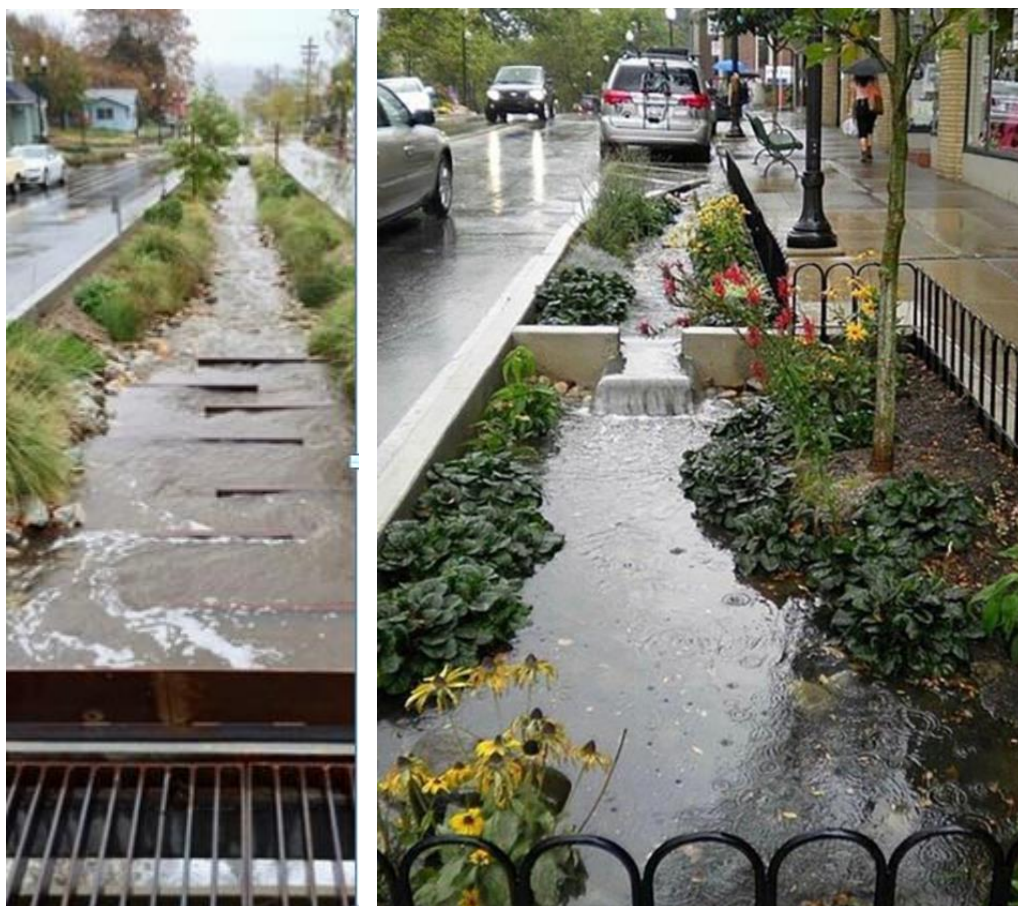


Рис. 2.3 Приклади утворення водяних стовпів

На здатність системи біоутримання до зменшення об'єму стоку може вплинути багато факторів, наприклад наявність недостоку, рівень інфільтрації природного ґрунту, режим опадів і критерії розміру. Згідно з результатами деяких досліджень, розрахункове скорочення стоку в системах біоутримання з недостатнім дренажем (включаючи часткову інфільтрацію та без застосування інфільтрації) становить 45%, а в системах біоутримання з достатнім - 85%.

2.1.5 Контроль якості зливної води

Біоутримання також може вирішити проблему забруднення води шляхом очищення забрудненої води завдяки взаємодії рослин, ґрунту та організмів. Забруднювачі можна розділити на дві групи: органічні забруднення та неорганічні забруднення. До органічних матеріалів належать витоки нафти, відходи тварин тощо; до неорганічних матеріалів належать поживні речовини, важкі метали тощо. Процеси очищення включають:

1. Осідання – зважені частинки та тверді речовини осідають, коли вода накопичується в системі біоутримання.

2. Фільтрація – частинки стоку відфільтровуються, коли вода рухається вниз через землю.

3. Асиміляція – зростаючі рослини поглинають поживні речовини та забруднювачі (під час росту рослини можуть поглинати та зберігати мінеральні поживні речовини у своєму тілі, а після їх смерті та розпаду поживні речовини повертаються в природу. Крім того, рослини здатні накопичувати забруднення важкими металами, які згодом можна видалити шляхом зрізання та видалення вирощених рослин, відомих як технологія очищення забрудненого ґрунту, повітря та води «фіторе mediaція»).

4. Адсорбція – забруднювачі в розчинених речовинах притягуються та зв'язуються поверхнею коренів рослин, частинками ґрунту чи гумусу та іншими органічними речовинами.

5. Деградація та розкладання – ґрунтові мікроорганізми розщеплюють хімічні речовини та органічні забруднення (технологія використання живих мікроорганізмів для видалення забруднювачів навколишнього середовища, таким чином відновлюючи початкові природні ситуації та запобігаючи подальшому забрудненню, відома як «біоре mediaція»). Незважаючи на те, що процеси очищення води, як правило, здійснюються на рослинних територіях, ключовими операторами в обробці води є ґрунт і мікроорганізми, а не рослини. Однак значну роль відіграє рослинний ярус у підтримці та сприянні процесам очищення води. По-перше, рослини можуть створювати вторинний

поровий простір усередині ґрунту, щоб підвищити його проникність; по-друге, ріст пагонів і коренів рослин може перешкоджати ущільненню ґрунту; по-третє, поверхня коренів рослин може бути середовищем проживання мікроорганізмів; нарешті, рослини можуть транспортувати кисень з повітря вниз до ґрунту.

(Наприклад, водно-болотні рослини можуть сприяти активності мікроорганізмів, збільшуючи площі поверхні, щоб прикріпити ґрунтові мікроорганізми своїми стеблами та корінням, або транспортуючи кисень через їх тканини вниз до коренів, що ростуть у насиченому ґрунті, щоб забезпечити умови, багаті киснем, для мікроорганізмів жити в)

Як польові дослідження, так і лабораторні дослідження показали, що системи біоутримання є однією з найефективніших найкращих практик управління (BMP) для видалення забруднюючих речовин. Крім того, їх здатність видаляти забруднюючі речовини пов'язана з їх здатністю зменшувати стік. Наприклад, у системі повної інфільтрації, якщо клітина біоретенції здатна проникнути та випарувати весь стік із ділянки, тоді жоден забруднювач не залишить ділянку в межах поверхневого стоку. Згідно з деякими дослідженнями, проведеними протягом першого десятиліття двадцять першого століття,

Очищувальну здатність цільових систем біоутримання для видалення різних типів забруднювачів можна зробити наступним чином: їхня очисна здатність видаляти метали, загальну кількість зважених твердих частинок⁴⁶ і поліциклічні ароматичні вуглеводні виявилася найвищою; наступне – видалення металів із протижеледної солі при таненні снігу; швидкість видалення азоту та аміачного азоту була нижчою, ніж зазначена вище; найнижчий – для нітратного азоту.

Проте було виявлено, що деяка вода після інфільтрації в системах біоутримання містить більше загального фосфору, імовірно, вимивається із середовища для вирощування, яке містить високий вміст фосфору. У зв'язку

з цим середовище для вирощування слід перевірити перед установкою, а вміст фосфору в ньому слід підтримувати від 10 до 30 ppm.

2.1.6 Інші екологічні переваги

Методи біоутримання здатні пом'якшити ефект міського теплового забруднення шляхом додавання рослинних зон, оскільки рослинні поверхні поглинають менше сонячної радіації, ніж тверді поверхні, а випаровування води в рослинності також може знизити температуру навколишнього середовища. Крім того, програми біоутримання можуть принести інші переваги, такі як: створення характерного ландшафту за допомогою рослин, забезпечення додаткового середовища існування для дикої природи, покращення якості повітря тощо.

2.1.7 Потенційне забруднення та рішення

Моніторингові дослідження довели, що місцеві ґрунти, що лежать під ними, не будуть забруднені невеликими розподіленими інфільтраційними методами біоутримання, навіть після експлуатації протягом більше десяти років.

Забруднювачі міського стоку не становлять великої загрози для ґрунтових вод, оскільки більшість із них утримується ґрунтами та методами інфільтрації. Однак, оскільки антиожеледні солі зазвичай застосовуються для розморожування доріг і паркувальних майданчиків у погоду нижче нуля, а їхні складові, такі як хлорид і натрій, не послаблюються належним чином у ґрунті, тому легко переносяться в неглибокі ґрунтові води. Крім того, проникнення цих хімічних елементів сприятиме переміщенню інших хімічних елементів, таких як мідь, кадмій і свинець, у ґрунті, таким чином створюючи загрозу якості підземних вод, збільшуючи ймовірність концентрації певних важких металів. (Насправді, відбір проб підземних вод нижче інфільтраційних процесів прийому стоків, наповнених сіллю для

боротьби з льодом, дуже мало досліджень виявили концентрації важких металів, що перевищують стандарти питної води.)

Для зменшення ймовірності забруднення ґрунтових вод можна застосувати наступні підходи до управління: перед інфільтрацією стоку спочатку слід застосувати методи седиментації: 1. попередню обробку, наприклад, сепаратор піску та нафти;

2. Інфільтрація стоку з менш забруднених територій, таких як стоянки, дороги з низьким рухом і дахи, повинна мати пріоритет;

3. Стік із зон інтенсивного руху (таких як жваві автомагістралі, на яких використовується велика кількість солі для боротьби з льодом) і гарячих точок забруднення (таких як джерела забруднення, звідки походить сильно забруднений стік, наприклад заправка транспортних засобів, або зони зберігання небезпечних матеріалів або об'єктів важкої промисловості) не слід отримувати таким чином.

Крім потенційного зараження, при застосуванні систем інфільтрації на практиці необхідно враховувати деякі інші ситуації, наприклад:

1. Швидкість інфільтрації природного ґрунту для встановлення об'єкта біоутримання повної інфільтрації не повинна бути меншою за 25 мм/год, а об'єкт має бути щонайменше 750 мм завглибшки, щоб забезпечити адекватну фільтрацію;

2. Місця нанесення повинні бути більше ніж 3 метри від будівель, щоб запобігти потенційному пошкодженню конструкції;

3. Застосування не повинні розташовуватися у місцях вилуговування або септиків;

4. Застосування не слід розміщувати в місцях, де потрібні ущільнені ґрунти для підтримки конструкцій, ландшафту тощо.

2.2 Ланцюг для очищення зливових вод

2.2.1 Основний опис

Основні цілі системи біоутримання можна підсумувати у два етапи: зменшити непроникні площі поверхні, щоб зменшити зливовий стік, і використовувати рослини, ґрунт і мікроорганізми для переміщення, зберігання та фільтрації зливого стоку до того, як він покине ділянку. Ключем до практичної та ефективної реалізації цих цілей є створення інтегрованого підходу, який об'єднує серію різних об'єктів управління зливовими стоками, таких як еко-дах, водонепроникний тротуар, дощоприймач, фільтруючу смугу, біосховище, відстійний ставок і дощовий сад. щоб сформувати безперервний ланцюг управління зливовими водами, таким чином враховуючи всі аспекти руху стоку з цільової території. Цей інтегрований підхід відомий як «зливовий ланцюг очищення», також відомий як «зливовий ланцюг».

Ланцюг для очищення дощової води – це, по суті, серія різноманітних сконструйованих установок, які взаємодіють для обробки дощової води на цільовій ділянці з метою максимальної ефективності очищення дощової води. Це особливо необхідно, коли необхідна попередня обробка для видалення конкретних забруднень перед впровадженням управління дощовою водою, в іншому випадку це буде впливати на кінцеву якість очищення води. Типова система очищення зливових стоків зазвичай включає три частини (Рис. 2.4):



Рис. 2.4 Типова система управління зливовими стоками

головну частину поїзда (для контролю джерела), типовим компонентом якої є зелений дах; частина кузова поїзда, в якій застосовано різноманітні засоби; частина ланцюга поїзда (для підсумкового контролю), у якій часто використовується дощовий сад або ставок.

2.2.2 Основні методи поводження з дощовими стоками

Очищення зливової води може бути застосовано чотирма методами:

1. Техніка захисту, яка запобігає потраплянню дощової води на поверхню землі;
2. Методи утримання, які зберігають воду, поки вона не проникне в ґрунт або не випарується назад в атмосферу;
3. Техніка затримки, яка зберігає воду протягом короткого періоду, а потім зливає її в іншому місці;
4. Техніка транспортування, яка відводить дощову воду з місця, на яке вона потрапляє, до місця її збору.

2.2.3 Етапи обробки

Оскільки різні технології очищення зливових стоків включають різні процеси очищення та здатні справлятися з різними цільовими забруднювачами, розташування їх порядку в системі очищення зливових стоків має вирішальне значення для ефективності видалення забруднюючих речовин.

Загалом, відповідно до різних типів цільових забруднювачів, робочі процеси очисної станції зливових вод можна розділити на три етапи очищення, як показано нижче.

1. Первинна стадія: боротьба з грубими забрудненнями у товщі та великими забруднювачами шляхом швидкого осадження та фізичного скринінгу, на цій стадії бажано застосувати осадові ставки, мусороуловлювачі та трав'яні кущі;

2. Другий етап: націлювання на прикріплені забруднювачі та дрібний осад за допомогою методів фільтрації та осадження дрібних частинок, системи біоутримання та пористе покриття та інфільтраційні траншеї та валики є кращими застосуваннями на цьому етапі;

3. Третій етап: націлений на розчинені важкі метали та поживні речовини шляхом поглинання осадами та біологічного поглинання та посилення седиментації та фільтрації, системи біоутримання або біоінфільтрації та водно-болотні угіддя є кращими рішеннями на цій стадії.

РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ З БІОРЕТЕНЦІЄЮ

3.1 Фіторемедіація

Термін «фіторемедіація» складається з двох частин: «фіто-» означає “з використанням рослин” і «ремедіація» означає “вирішення проблеми”. Таким чином, «фіторемедіація» буквально означає «використання рослин для вирішення проблеми».

Зокрема, фіторемедіація відноситься до методів використання рослин для видалення забруднюючих речовин з води та ґрунтів за допомогою таких процесів, як деградація, екстракція, локалізація та стабілізація. (Рисунок 3.1).

Згідно з [17], основні процеси фіторемедіації включають наступні етапи:

1. Деградації органічних забруднювачів у ризосфері, яка відноситься до області ґрунту, на яку впливає коріння рослини;
2. Вилучення: забруднювачі можуть накопичуватися у частинах рослинного тіла, таких як листя або пагони, і шляхом зрізання цих частин рослини можна ефективно вилучити забруднювачі з місця забруднення;
3. Утримання: коріння рослин здатне очищати ґрунт, зв'язуючи забруднюючі речовини всередині;
4. Стабілізація: рослини здатні видаляти середовище, яким забруднювачі переносяться.

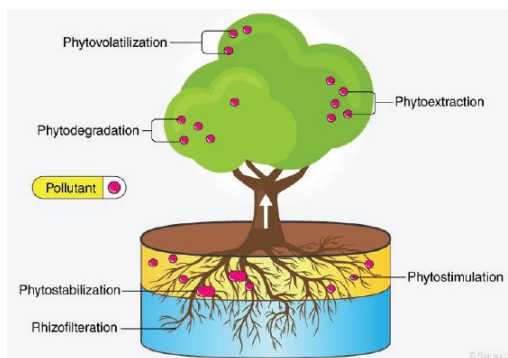


Рис. 3.1 Фіторемедіація

Таблиця 3.1

Визначення та основні характеристики процесів фіторе mediaції [5, 7]

Мета процесу	Забруднюючі речовини	Середовище	Критерії відбору видів рослин
1	2	3	4
Фітоекстракція			
Поглинання забруднювача корінням рослин з навколишнього середовища та його транслокація у рослинну біомасу. Вилучення та уловлювання забруднювачів.	Органічні та неорганічні забруднювачі	Ґрунти; осадові породи; вода; шлами	Толерантність до високих концентрацій металів; висока здатність до накопичення металів; швидкість росту; накопичення мікроелементів у надземній частині; легко збирати врожай; розширена коренева система для освоєння великих об'ємів ґрунту; високий коефіцієнт транслокації; простий агротехнічний менеджмент; хороша адаптація до переважаючих природних та кліматичних умов; стійкість до патогенів та шкідників; відлякування трав'янистих тварин для уникнення забруднення харчового ланцюга
Фітостабілізація			
Зменшення мобільності та біодоступності забруднюючих речовин у навколишньому середовищі шляхом фізичного або хімічного впливу. Утримання забруднюючих речовин	Важкі метали; хлоровані розчинники	Ґрунт; відкладення; шлами	Здатність розвивати розгалужену та рясну кореневу систему; здатність утримувати транслокацію металів з коренів у пагони на якомого нижчому рівні; здатність утримувати забруднювачі в коренях або ризосфері (механізм виключення), щоб обмежити розповсюдження за харчовим ланцюгом
Фітоволатизація			
Процес поглинання забруднюючих речовин рослинами та їх випаровування в атмосферу за допомогою листової системи. Вилучення забруднюючих речовин із середовища та викид у повітря	Хлоровані розчинники; неорганічні сполуки	Ґрунтова вода; ґрунт; осадові породи; мул	Металостійкі рослини; висока адсорбційна поверхня; толерантність до гіпоксії.

1	2	3	4
Ризофільтрація			
Використання коріння рослин для поглинання або адсорбції забруднюючих речовин, що знаходяться в розчині навколо кореневої зони. Вилучення та уловлювання забруднень.	важкі метали; органічні сполуки	Поверхневі води; стічні води	Наземним рослинам надається перевага, оскільки вони мають волокнисту і набагато довшу кореневу систему, що збільшує площу коренів

Фіторе mediaція підходить для ґрунтів, забруднених конкретними забруднювачами, що знаходяться у верхніх шарах із середнім рівнем забруднення або нижче.

3.2 Біоре mediaція

Термін «біоре mediaція» складається з двох частин: «біо-» означає “використання живих організмів” і “ре mediaція” означає “виправлення чогось неправильного”, так що “біоре mediaція” буквально означає “використання живих організмів для виправлення чогось неправильного”.

Зокрема, біоре mediaція - це технологія, що використовує живі мікроорганізми для видалення забруднювачів довкілля, відновлюючи таким чином природний стан і запобігаючи подальшому забрудненню (Рис. 3.2).

Іншим визначенням біоре mediaції, яке є більш всеосяжним, буде наступне: біоре mediaція - це, по суті, метод очищення від забруднюючих речовин за допомогою різноманітного біологічного метаболізму для перетворення забруднюючих речовин у нешкідливі матеріали, такі як мікробна біомаса, простіші органічні речовини або неорганічні сполуки (вуглекислий газ і вода).

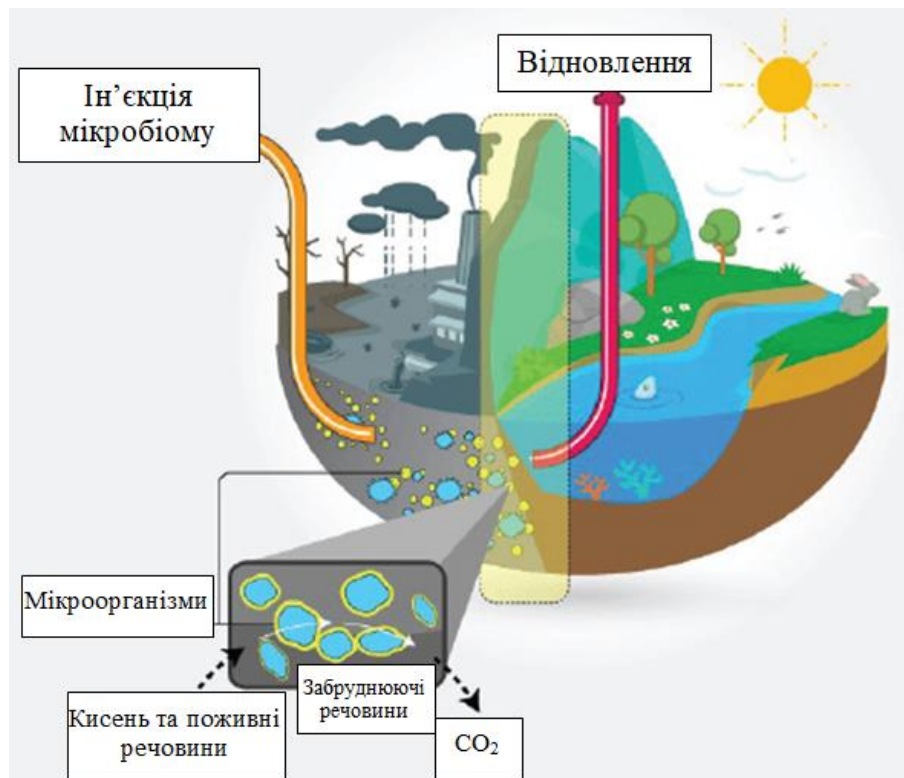


Рис. 3.2 Процес біоремедіації

Відповідно до місця, з якого видаляються забруднювачі, методи біоремедіації можна розділити на дві групи:

1. **Біоремедіація на місці**, яка застосовується для видалення забруднювачів із забруднених ґрунтових вод та ґрунтів. Цей тип біоремедіації є близьким до місця забруднення, тому не потребує транспортних витрат, і ще однією перевагою є те, що він застосовує нешкідливі мікроорганізми як біоремедіатори для очищення від хімічних забруднень. Але недоліком цього методу є те, що порівняно з іншими методами очищення він займає більше часу і може призвести до інших проблем.

Відповідно до походження мікроорганізмів, біоремедіація *in situ* може бути класифікована як «внутрішня біоремедіація», яка здійснюється без прямої мікробіологічної модифікації, але шляхом покращення умов вентиляції та харчування для проміжної адаптації до місцевих екологічних умов, зміцнення природних популяцій та сприяння метаболізму існуючої

мікрофауни, та «інженерна біоремедіація *in situ*», яка здійснюється шляхом введення певних мікроорганізмів у місця забруднення.

2. Біоремедіація *ex situ*, яка має справу з проблемами забруднення за межами місця забруднення. Для цього типу біоремедіації забруднені ґрунтові води та ґрунт необхідно транспортувати до місця біоремедіації.

Відповідно до стану забруднювачів, біоремедіація *ex situ* може бути класифікована як «система твердої фази», що включає ґрунтові кучугури і обробку землі, і «система суспензійної фази», що включає суспензію твердої і рідкої фаз у біореакторах.

Оскільки біоремедіація використовує наявні на місці ресурси для усунення забруднювачів, вона, як правило, є більш екологічною та економічно ефективною порівняно з хімічним очищенням.

Практики управління зливовими водами, такі як біо-затоки та дощові сади, які використовують природну здатність ґрунтових мікробів очищати воду шляхом використання рослинності та ґрунту для очищення стоків, є різновидом практик біоремедіації. Біоремедіація широко застосовується в галузях, що видобувають природні ресурси, таких як гірничодобувна та нафтова промисловість. Однак біоремедіація не підходить для стоків з високою концентрацією речовин, токсичних для більшості мікроорганізмів, таких як кадмій, солі або свинець.

3.3 Органічна речовина ґрунту

Органічна речовина ґрунту - це сума всіх органічних матеріалів у ґрунті або на його поверхні, включаючи як живі компоненти (такі як жива рослинна тканина, так і мертві компоненти рослин, що відмерли, та органічна речовина, пов'язана з живою ґрунтовою фауною, а також клітини живих ґрунтових мікроорганізмів), так і неживі компоненти (такі як тверді органічні речовини, розчинені органічні речовини, гумус та інертні органічні

речовини), але не включаючи надземні живі рослини, незалежно від їхнього джерела [18, 19].

Вміст органічної речовини у здоровому верхньому шарі ґрунту більшості регіонів помірного поясу становить від 3% до 5%, тоді як вміст органічної речовини в ґрунтах пустель - менше 1%, а в ґрунтах водно-болотних угідь, як правило, дуже високий. Більше того, через видалення рослинності та ущільнення ґрунту, спричинене будівництвом та експлуатацією земельних ділянок, вміст органічної речовини у міських ґрунтах зазвичай нижчий, ніж у навколишніх екосистемах. Крім того, Ініціатива зі сталого розвитку рекомендує, щоб вміст органічної речовини в ґрунті перевищував 3% принаймні в 30-сантиметровому шарі ґрунту (або був порівнянним з аналогічним вмістом у навколишніх природних ландшафтах, які можуть слугувати еталонними) [19].

Відповідно до «Проектування сталого розвитку: Інтегровані стратегії дизайну для невеликих ділянок і житлових ландшафтів», органічна речовина ґрунту має такі переваги:

Покращення

1. Структури ґрунту;
2. Зменшення щільності ґрунту;
3. Забезпечення джерела живлення для мікроорганізмів;
4. Забезпечення поживними речовинами, необхідними рослинам;
5. Покращення руху повітря та інфільтрації води через ґрунт;
6. Сприяння збереженню води;
7. Усунення або зв'язування забруднювачів.

Оскільки органічна речовина постійно розщеплюється ґрунтовими організмами на корисні для росту рослин речовини, такі як поживні речовини, а природне джерело органічної речовини видаляється з ґрунту через звичайні практики догляду, такі як стрижка газону та підмітання листя, ґрунт повинен регулярно поповнюватися. Стратегії підтримки належного рівня органічної речовини в ґрунті включають:

1. Запобігання втраті органічної речовини ґрунту через прискорення розкладання;
2. Залишати на місці гнилі та викинуті рослинні рештки, такі як листя та стебла, які природним чином потрапляють до ґрунту;
3. Збільшення або підтримання рослинного покриву, який може відкладати органічну речовину у ґрунтовому профілі та на поверхні ґрунту;
4. Забезпечення регулярного внесення органічних матеріалів, таких як солома, подрібнене листя та компост.

Крім того, хоча компост є натуральним продуктом, він може вимивати поживні речовини, що призводить до забруднення ґрунтових і поверхневих вод. Через це, коли компост вносять поблизу чутливих екологічних зон або у великих кількостях, слід вжити заходів для запобігання стоку та уникнення забруднення приймаючих вод. Особливо в таких ландшафтних елементах управління зливовими водами, як біопокрівлі та зони біофільтрації, потенціал забруднення води особливо великий.

Тому необхідно враховувати типи органічної речовини ґрунту та їхній потенціал забруднення води.

Підходи до відновлення

Відновити відповідний вміст органічної речовини в ґрунті відносно просто і економічно ефективно. При проєктуванні екологічно сталого об'єкта рекомендується застосовувати два факультативні підходи:

Інтегровані стратегії проєктування для невеликих ділянок і житлових ландшафтів», а саме:

1. Постійне розкидання компосту або мульчі над грядками, які поступово переміщуються ґрунтовою фауною, наприклад, дощовими черв'яками, в ґрунт, щоб з часом поповнити вміст органічної речовини в ґрунті;
2. Внесення достатньої кількості (конкретна кількість залежить від типу, умов та вмісту компосту в ґрунті) стабільного та зрілого компосту в ґрунт як верхній шар на глибину від 15 до 45 см.

Мікроорганізми ґрунту

Мільйони корисних мікроорганізмів, таких як гриби та бактерії, існують в одній чайній ложці здорового ґрунту. Різноманітні та численні мікроорганізми є невід'ємною частиною органічної речовини ґрунту. Вони підтримуються повітрям, водою та органічною речовиною ґрунту, що, в свою чергу, сприяє кругообігу поживних речовин, здоровому росту рослин, видаленню забруднювачів та покращенню структури ґрунту. (Рис. 3.3)

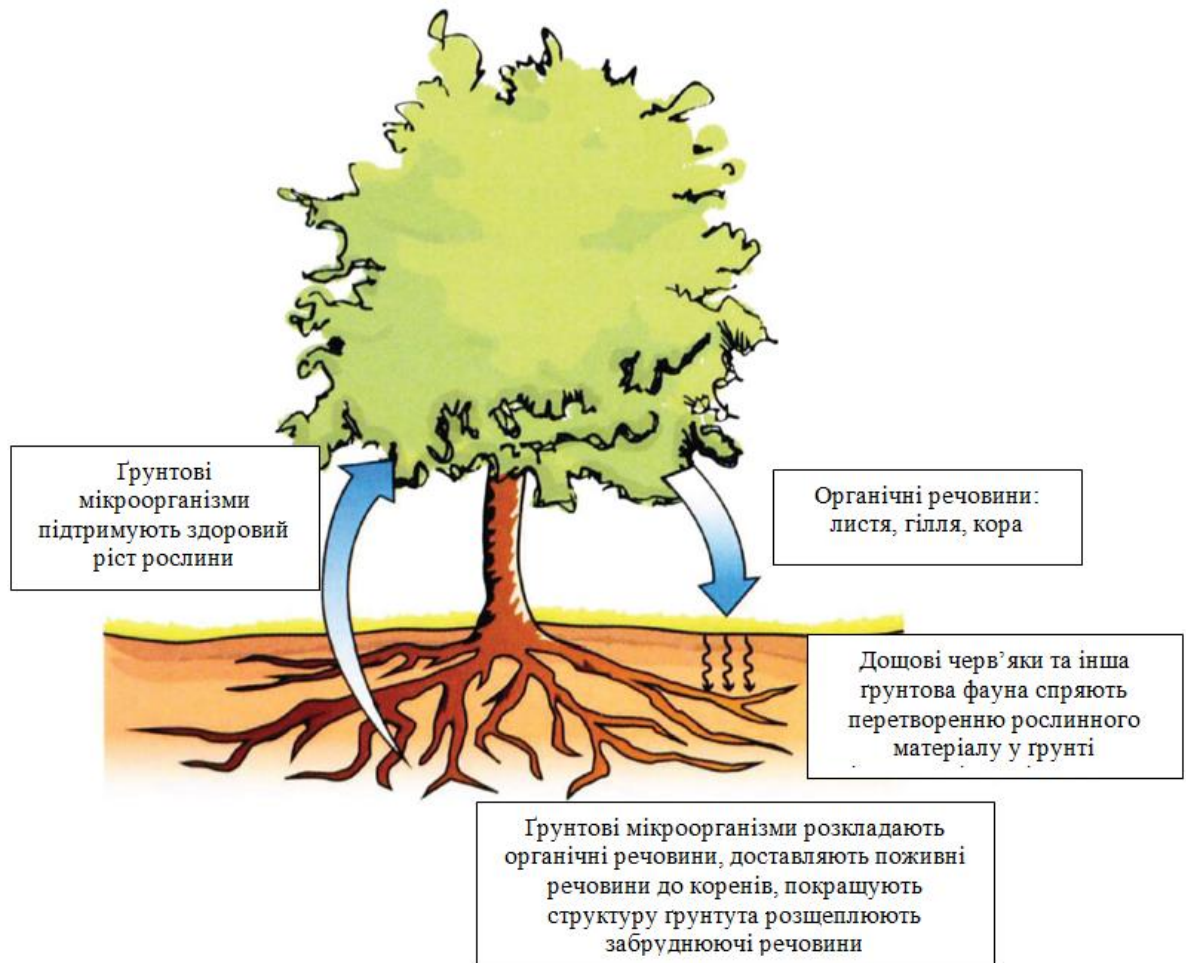


Рис. 3.3 Взаємовідносини між вегетативними процесами та мікробіомами

Основні стратегії збереження та захисту ґрунтових організмів включають:

1. Уникнення непотрібного обробітку ґрунту та порушення ґрунту.
2. Зменшення ущільнення ґрунту для сприяння інфільтрації води та повітря.

3. Підтримання відповідного вмісту органічної речовини в ґрунті.
4. Уникнення пестицидів, які є шкідливими для організмів у ґрунті.
5. Підтримання різноманітності рослинної палітри для забезпечення різноманітних джерел їжі для ґрунтових організмів;
6. Збереження мульчі, рослинного покриву або рослинних матеріалів, таких як листя, щоб уникнути оголення ґрунту.

Ущільнення ґрунту

Частинки ґрунту ущільнюються під тиском ваги від невеликих повторюваних зусиль або одноразової інтенсивної сили. Ущільнення ґрунту - це, по суті, збільшення насипної щільності ґрунту, яка визначається як «суха вага ґрунту, поділена на загальний об'єм, який він займає», і існує «максимально допустима насипна щільність ґрунту», при якій ґрунт більше не залишається стабільним, і «зростаюча гранична насипна щільність ґрунту», при якій ґрунт більше не підтримує ріст коренів.

До поширених причин ущільнення ґрунту належать

1. Навантаження від будівельної та ремонтної техніки;
2. Навантаження від повторюваного руху пішоходів і тварин;
3. Навантаження від паркування або проїзду на ділянці, не призначеній для руху автотранспорту;
4. Дощові опади на голі ґрунти;
5. Стиснення або обробка вологих ґрунтів;
6. Низький рівень органічної речовини ґрунту.

Вплив та індикатори

Пори зменшуються через ущільнення ґрунту, що призводить до обмеження росту коренів, зниження рівня інфільтрації та зниження біологічної активності. При надмірному ущільненні ґрунтів зменшується їхня здатність поглинати та очищати воду, внаслідок чого збільшується об'єм стоку, що призведе до поширення забруднень (Рис. 3.4).

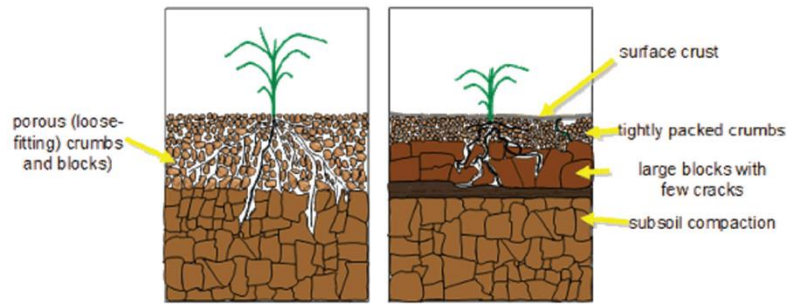


Рис. 3.4 Здоровий ґрунт (зліва) та ущільнений ґрунт (справа)

Потенційні показники ущільнення ґрунту включають:

1. Сухопутну течію;
2. Небажане скупчення води;
3. Голі ґрунти без росту рослин;
4. Поганий ріст рослин;
5. Древа вкорінюються неглибоко.

Стратегії захисту

Запобігання або мінімізація ущільнення ґрунту може уникнути витрат на непотрібну заміну рослин, заходи боротьби з ерозією та проблеми з дренажем, тим самим заощаджуючи час і гроші протягом життя проєкту міста-губки. Практичні стратегії включають:

1. Збір інформації про стан територій з деградованими ґрунтами, включаючи забруднення, ерозію, переущільнення;
2. Виключають порушення ґрунту та зводять до мінімуму порушення здорових ґрунтів;
3. Розробка плану збереження, що визначає території, що мають бути збереженими, та їх огороження.

Етапи відновлення

Надмірно ущільнені ґрунти з обмеженою здатністю до проникнення води слід перемістити на такі ділянки, як тротуари, дороги та будівельні майданчики, які вимагають шарів основи для структурної підтримки. Інші

грунти, на яких передбачається відновлення рослинного покриву, повинні бути відновлені як стійке середовище росту.

Етапи відновлення ущільнених ґрунтів включають:

1. Розпушування або обробіток ґрунту для його розпушування;
2. Використання компосту або мінеральних добавок (компост є кращим, оскільки він забезпечує багато переваг для здоров'я ґрунту) для покращення ґрунту;
3. Уникнення повторного ущільнення ґрунтів (вжити заходів щодо їх озеленення та обмеження руху пішоходів і автотранспорту).

Структурний ґрунт

Структурний ґрунт — це, по суті, спеціалізований базовий шар, що складається з гравію з щілинами, такого як щебінь, і ґрунту з мінеральним і органічним вмістом, які створені для підтримки різних типів дорожнього покриття, зберігаючи сприятливі умови для росту коренів. Ґрунт частково заповнює проміжки між гравієм, а порожні простори, що залишилися, можуть тимчасово зберігати воду, діючи як резервуар. Гравій витримує транспортне навантаження та запобігає ущільненню підстиляючого ґрунту, щоб можна було зберегти ріст коренів (Рис. 3.5).



Рис. 3.5 Концептуальна діаграма структурного ґрунту

Робочі процеси

Структурні ґрунти відіграють важливу роль у практиці очищення зливових стоків, що реалізується за допомогою процесів рельєфування:

Перехоплення, яке експлуатується заводами, що

1. Ростуть у структурному ґрунті.
2. Евапотранспірація, також реалізована з рослинним шаром.
3. Інфільтрація, що відноситься до процесу просування води в ґрунт.
4. Зберігання, яке відноситься до процесу піддонного резервуара, який уповільнює та подовжує випуск дощової води.

5. Біоремедіація, яка стосується процесу зв'язування та розщеплення забруднюючих речовин мікроорганізмами, корінням рослин і частинками ґрунту.

Здатність очищувати дощову воду системою структурного ґрунту значною мірою залежить від глибини резервуару, суміші матеріалів, монтажу та практики обслуговування. Наприклад, CU-Structural Soil глибиною 60 см із 26% порожнини може проникнути більше ніж 15 см опадів за 24 години. Як правило, структурні ґрунти призначені для відведення води протягом 48 годин, щоб захистити здоров'я рослинності та підтримувати оптимальне функціонування.

Оскільки основною метою структурних ґрунтів є підтримка росту рослинності в типово несприятливих умовах, забезпечуючи таким чином різноманітні переваги для ділянок, наприклад, пом'якшення міського теплового острова, глибину структурного ґрунту слід враховувати при початок дизайну. Для підтримки росту великих дерев, оптимальна глибина 60-90 см.

Крім того, слід запланувати моніторинг і технічне обслуговування структурних ґрунтових систем, наприклад перевірку сміття та сміття після сильного шторму, а також регулярне очищення вхідних і вихідних труб для запобігання засміченню, щоб забезпечити їх оптимальну роботу.

РОЗДІЛ 4. СПОРУДИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗЛИВОВИХ ВОД

4.1 Зелені дахи як один із ключових елементів міста-губки

Зелені дахи - це спеціальні шари з гідроізоляційними технологіями та посадковим матеріалом, які можуть вловлювати, зберігати та відводити стічні води на дахах будівель, і вони призначені для того, щоб зменшити кількість стічних вод та швидкість водного потоку.

Згідно з думкою, згадану у книзі «Сади дощу: Стале управління водними ресурсами в садах і ландшафтах» (Rain Gardens: Managing Water Sustainably in Garden and Designed Landscape, якщо зрошення не може бути забезпечене в дуже посушливий літній період, дах не зможе залишатися в «первозданному свіжому зеленому» стані, і з цієї причини краще використовувати термін «еко-дах» або «живий дах», а не «зелений дах», щоб запобігти непорозумінням. Назва «сад на даху» також згадується в Посібнику з планування та проєктування управління зливовими водами в забудові з низьким рівнем впливу.

4.1.1 Історія застосування

Технології зелених дахів застосовуються в архітектурі вже протягом тисячі років, починаючи з використання садів і терас на дахах. Одним з відомих прикладів - Вілла деї Містері у давньоримському місті Помпеї. Ці дахи з клумбами можна розглядати як старіші версії інтенсивних дахів. У Північно-Західній Європі дернові дахи, які можна розглядати як старіші еквіваленти екстенсивних зелених дахів, використовувалися щонайменше з часів вікінгів.

У Німеччині наприкінці 19 століття в численних орендних багатоквартирних будинках з метою протипожежного захисту було збудовано велику кількість зелених дахів з шарами дерну, піску і гравію. У період між двома світовими війнами архітектори-модерністи почали впроваджувати ідею зелених дахів у проєкти будинків і садів. У книзі Ле

Корбюзьє «П'ять пунктів сучасної архітектури», опублікований у 1926 році, сади на дахах розглядаються як відновлення забудованих територій.



Рис. 4.1 Зелений дах у школі Нойбранденбург, Німеччина

Після Другої світової війни технології озеленення дахів досягли значного прогресу. Наприклад, у 1950-х роках німецькі дослідники почали вивчати зелені дахи як міське середовище існування; у 1960-х роках було досліджено використання легких матеріалів як живильного середовища для шарів субстрату; у 1970-х роках субстратних шарів; у 1970-х роках деякі провідні компанії випустили комерційно доступні сучасні системи зелених дахів.

4.1.2 Основні категорії

На думку Vesuviano, сучасні зелені дахи можна розділити на дві категорії: екстенсивний та інтенсивний тип [37]. Основні відмінності між ними пов'язані з шаром рослинності, шаром субстрату та режимом обслуговування. Екстенсивний зелений дах будується з шаром субстрату глибиною менше 150 мм, тоді як глибина субстрату інтенсивного зеленого

даху, як правило, перевищує 150 мм. Для екстенсивного зеленого даху можна висаджувати міцні і витривалі рослини, які можуть вижити на відкритих ділянках з поганим ґрунтом і сухою погодою, наприклад, з гір, скель, узбережжя або сухих луків (на думку Даннетта і Клейдена, найкращим вибором є рослини родини Осокові і мохи [38]), тоді як для інтенсивного зеленого даху вибір рослин набагато ширший, оскільки умови для висаджування кращі. Догляд за екстенсивним зеленим дахом повинен бути невибагливим і простим, тоді як для інтенсивного зеленого даху він може бути значно вищим, оскільки потрібен регулярний догляд для видалення відмерлих та інвазивних рослин, а також зрошення, коли випадає недостатньо опадів.

Згідно з узагальненням Даннетта і Кінгсбері, типи зелених дахів можна розділити на три категорії: екстенсивні, напівекстенсивні та інтенсивні. Глибина субстрату екстенсивного зеленого даху становить менше 100 мм, а можливості для висаджування можуть бути представлені спільнотами осоки або моху (коли глибина субстрату менше 50 мм), або травами і альпійськими рослинами, низькорослими посухостійкими багаторічниками, короткими луками диких квітів і дрібними цибулинними (коли глибина субстрату становить від 50 мм до 100 мм). Напівекстенсивний зелений дах має глибину субстрату від 100 мм до 200 мм, з широким спектром можливостей для посадки, таких як суміші цибулинних, трав, низькорослих і середньорослих багаторічних рослин, однорічних рослин з посушливих районів, польових луків і витривалих чагарників.

Інтенсивні зелені покрівлі - це покрівлі, шари субстрату яких мають глибину понад 200 мм, з висадженими їстівними рослинами, середніми чагарниками, дерновими травами, універсальними багаторічними рослинами і травами (при глибині субстрату менше 500 мм), або з дерновими травами, багаторічними рослинами, чагарниками, невеликими листяними деревами і хвойними деревами (при глибині субстрату понад 500 мм).

4.1.3 Загальна структура зеленого даху

На рисунку 4.2 показана загальна структура системи зеленого даху.

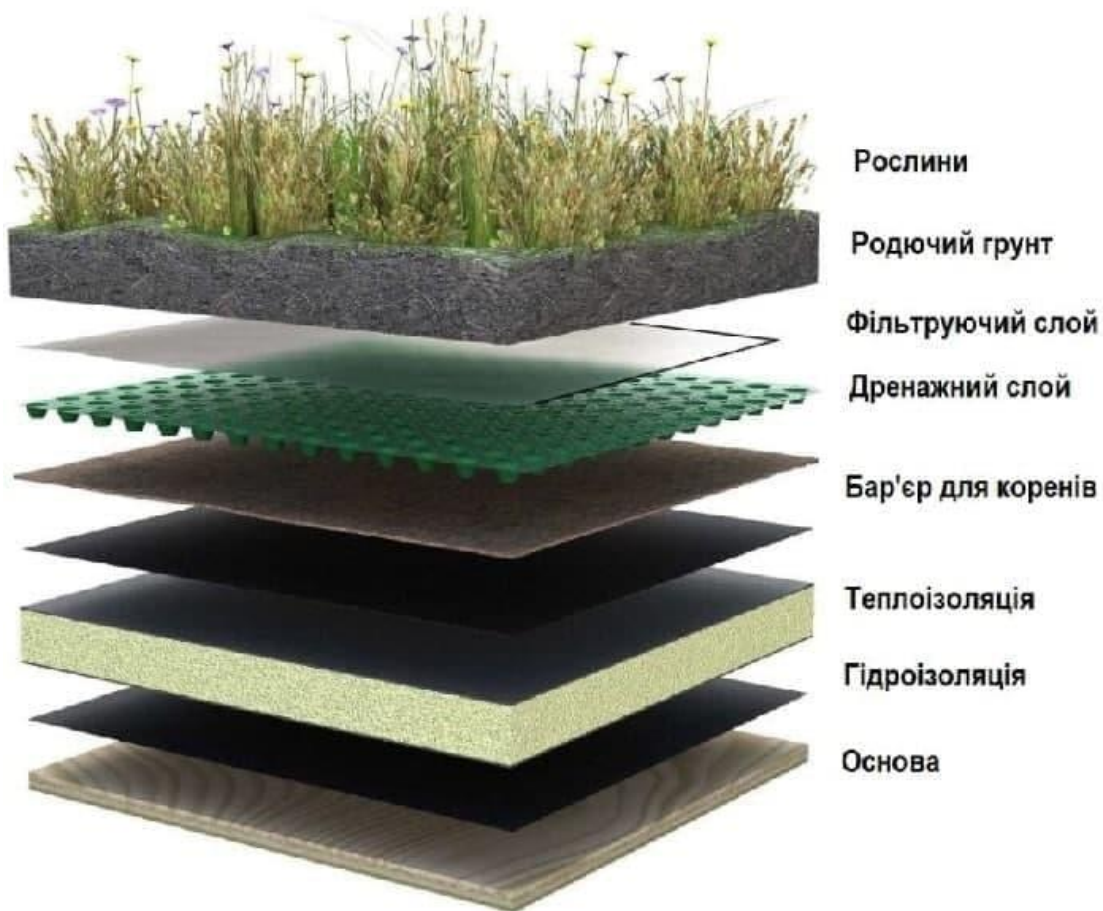


Рис. 4.2 Структура зеленого даху

За своїми функціями ці шари можна класифікувати на п'ять категорій:

1. Захисний шар (водонепроникний та кореневий бар'єр) – базовий шар у системі зеленої покрівлі. Цей шар має відповідати вимогам водостійкості та стійкості до коренів.

По суті, це додатковий шар поверх існуючої покрівлі. Найважливішим завданням є захист поверхонь даху від пошкодження корінням рослин, особливо для бітумних і асфальтових дахів, які вразливі для коренів рослин. Найслабкішими частинами поверхонь даху можуть бути з'єднання між листами руберойду, оскільки коріння рослин можуть проникнути всередину і використовувати їх.

Для досягнення цих цілей на поверхню покрівлі зазвичай використовують шар гідроізоляційної листової мембрани (монолітної або термопластичної).

В іншому випадку також можна використовувати «систему монтажу перевернутої покрівельної мембрани, що наноситься рідиною», у якій гідроізоляція розміщується між конструкцією даху та ізоляцією. Крім того, хімічний або фізичний кореневий бар'єр зазвичай розміщується на мембрані як додатковий захисний шар.

2. Дренажний шар – шар, що стоїть на захисному шарі. Цей шар виконує функцію вивільнення надлишку води, що збирається зеленим дахом. Попередньо сформовані пластикові стільникові матеріали зазвичай застосовуються для створення комерційного дренажного шару, і форма простих легких заповнювачів також може бути застосована для того ж ефекту. Пористість в цьому шарі має бути не менше 25%.

3. Фільтруюча прокладка – шар із геотекстильного матеріалу над дренажним шаром. Він працює як фільтр, щоб запобігти засміченню дренажного шару субстратами.

4. Субстратний шар (середовище для вирощування) – шар, що складається з легкого штучного ґрунту, на якому ростуть рослини. Заповнювальні матеріали, такі як легкі спучені гранули, перероблена подрібнена цегла або черепиця, перліт або вермикуліт, змішані з невеликою порцією органічних речовин, таких як компост із зелених відходів, зазвичай використовуються для комерційних субстратів.

Відповідно до посібника з планування та проектування управління зливовими водами, матеріали для цього шару складаються з подрібненої цегли, гравію, піску, компосту або органіки, змішаної з землею. У великому зеленому даху глибина цього шару коливається від 40 мм до 150 мм, а в повністю насиченій ситуації навантаження становить від 80 до 170 кілограмів на квадратний метр. У той час як згідно з Посібником з управління зливовими водами, шар середовища для росту не може бути менше 100 мм у

глибини, а композиції повинні включати приблизно 10% перетравленої клітковини, 20% органічних матеріалів і 70% пористих матеріалів.

5. Рослинний шар – шар, що складається з рослин, які забезпечують «зелені елементи» даху. Найбільш широко використовуваними рослинами для цього ярусу є седуми, оскільки вони мають багато переваг, таких як витривалість і посухостійкість. Як сукулентні рослини седуми можуть накопичувати багато води разом із тканинами, а під час посушливих сезонів вони можуть закриватися, щоб зберегти накопичену воду. *Sedum album*, *Sedum reflexum* і *Sedum bispanicum* є широко використовуваними видами з роду *Sedum* в системі зеленого даху.

Як описано в Керівництві з управління зливовими водами, відповідні породи для зеленого даху мають бути посухостійкими, самодостатніми, здатними витримувати спеку, потребувати мало догляду, багаторічними або посівними та вогнестійкими. Крім того, не менше 90% площі повинні бути покриті посухостійкими рослинами протягом двох років. Більше 50% площі повинні бути засаджені вічнозеленими видами. Лише 10% або менше площі можна покрити матеріалами без рослинності, такими як бруківка, гравійний баласт тощо.

4.1.4 Вимоги до проєктування

Для проєктування еко-покрівельної системи необхідно врахувати дві основні вимоги: структурне навантаження та гідроізоляція. Для великих зелених дахів, відповідно до Посібника з управління зливовими водами, якщо зелений дах буде додано до будівельної конструкції, загалом конструкція повинна мати здатність витримувати насичену вагу від 75 до 150 кілограмів на квадратний метр площі. У той час як згідно з Керівництвом ВМР для міських малих об'єктів Міннесоти, якщо зелений дах важчий за 80 кілограмів на квадратний метр у насиченому стані, необхідно проконсультуватися з інженером-конструктором.

Проєктування стійкого сайту: інтегровані стратегії дизайну для маломасштабних ділянок та житлових ландшафтів рекомендують структурне

навантаження від 70 до 170 на квадратний метр, а для інтенсивних зелених дахів воно має бути приблизно від 290 до 970 на квадратний метр.

Більше того, екодакрівля дозволяє збирати тільки ті опади, які потрапляють безпосередньо на поверхню даху, а значить, стоки з інших ділянок екопокрівля не допускає.

Крім того, існує обмеження для ухилу зеленого даху. Відповідно до Посібника з управління зливовими водами, він не може перевищувати 25%. У той час як згідно з Посібником з планування та проєктування управління зливовими водами з низьким впливом на забудову, максимальний ухил становить лише 10%, необхідні додаткові заходи боротьби з ерозією для стабілізації дренажного шару на схилі даху [39].

4.1.5 Основні переваги зелених дахів

Основні переваги системи зелених дахів включають зменшення стоку на даху будівлі від злив, фільтрацію забруднюючих речовин з води, пом'якшення мікроклімату навколо будівлі, створення середовища існування для диких тварин, захист даху будівлі від пошкоджень та прикрашання зовнішнього вигляду даху. Згідно з деякими дослідженнями, зелені дахи можуть змінити піковий рівень стоку після розвитку до рівня, майже попереднього, і рекомендується консервативний коефіцієнт зменшення обсягу стоку від 45% до 55%. Інше дослідження показує, що кількість опадів 10 мм або менше може бути повністю поглинена більшістю зелених дахів, а показники утримування опадів 28 мм коливатимуться в межах 8% і 43%. Зелені дахи можуть зволожувати та охолоджувати навколишнє повітря, щоб пом'якшити ефект міського теплового острова. Стік із даху також буде охолоджуватися, що корисно для водних організмів, які чутливі до зміни температури.

Крім того, зелені дахи здатні поглинати тверді забруднюючі речовини, пил, що переносяться повітрям, споживати вуглекислий газ і виробляти кисень, зменшувати шум із зовнішнього середовища тощо.

4.1.7 Потенційне забруднення

Щодо здатності зелених дахів видаляти забруднюючі речовини, то в дослідженні, проведеному в 2006 році Торонто та Регіональним управлінням охорони природи, проаналізовано якість стоку зі звичайних чорних дахів і зелених дахів у Торонто. Він показав навантаження забруднюючих речовин, таких як нітрати, алюміній, цинк, мідь і загальні зважені тверді речовини з екологічного даху приблизно на 70%~90% нижчий, ніж у звичайного чорного даху, але загальне навантаження фосфору на 248% вище, ніж у звичайної чорної покрівлі. Більш високі концентрації поживних речовин у стоках із зелених дахів також були виявлені в інших дослідженнях, що може бути спричинено вимиванням із середовища вирощування. Певне середовище для вирощування та практики технічного обслуговування, такі як застосування пестицидів і добрив, можуть забруднювати зливові стоки. Через це особливу увагу слід приділяти компонентам і характеристикам середовища для вирощування та потенціалу зв'язування, утримання або вимивання забруднюючих речовин. Такі рішення, як використання добрива з контрольованим вивільненням або добрива з покриттям і використання меншої кількості органічної речовини, можуть зменшити вимивання. Фосфор можна додатково зменшити, фільтруючи його від стоків через поглинаючі середовища. Інше рішення полягає в тому, щоб помістити зелений дах у систему управління зливовими стоками, використовуючи наступні методи біофільтрації, такі як стрічки фільтрів, стружки та дощові сади для подальшої обробки забруднюючих речовин на місці.

4.2 Проникне покриття

Проникні тротуари або водопроникні тротуари відносяться до конструкцій мощення, в яких використовуються матеріали, що містять пори або порожнечі, які дозволяють стоку від опадів або талого снігу просочуватися через поверхні. Їхні головні цілі — зменшити стік і видалити забруднюючі речовини, щоб можна було контролювати як кількість, так і якість стоку. Проникні тротуари, як правило, підходять для застосувань із низьким трафіком, таких як пішохідні площі, доріжки, стоянки, стежки, алеї, під'їзні шляхи, житлові вулиці, під'їзди транспортних засобів екстреної допомоги та дороги з низьким рухом. Рослинні тротуари зазвичай підходять для сезонних або рідко використовуваних місць, де рослинам дозволяється регенерувати після того, як їх порушила діяльність людини, і вони найкраще підходять для клімату з регулярними дощами.

4.2.1 Загальна структура водопроникної структури

Загалом структуру водопроникної системи дорожнього покриття можна розділити зверху вниз на чотири частини: поверхня тротуару, відкрита основа з градуйованого заповнювача, відкрита нижня основа з сортованого заповнювача та земляне покриття (Рис. 4.3).

Основа та підоснова заповнювача повинні відповідати вимогам як до структурної опори, так і до накопичувача стоку. Чисте вимите каміння буде відповідним наповнювачем, оскільки будь-яка дрібна фракція буде мігрувати вниз і може забити шар основи. Перегородки з геотекстильної тканини слід встановлювати як під основою заповнювача (щоб запобігти міграції заповнювачів основи вниз, щоб закупорити порожнечі заповнювача нижньої основи), так і під нижньою основою заповнювача (щоб запобігти міграції заповнювачів нижньої основи вниз і осідання в ґрунт земляного полотна).

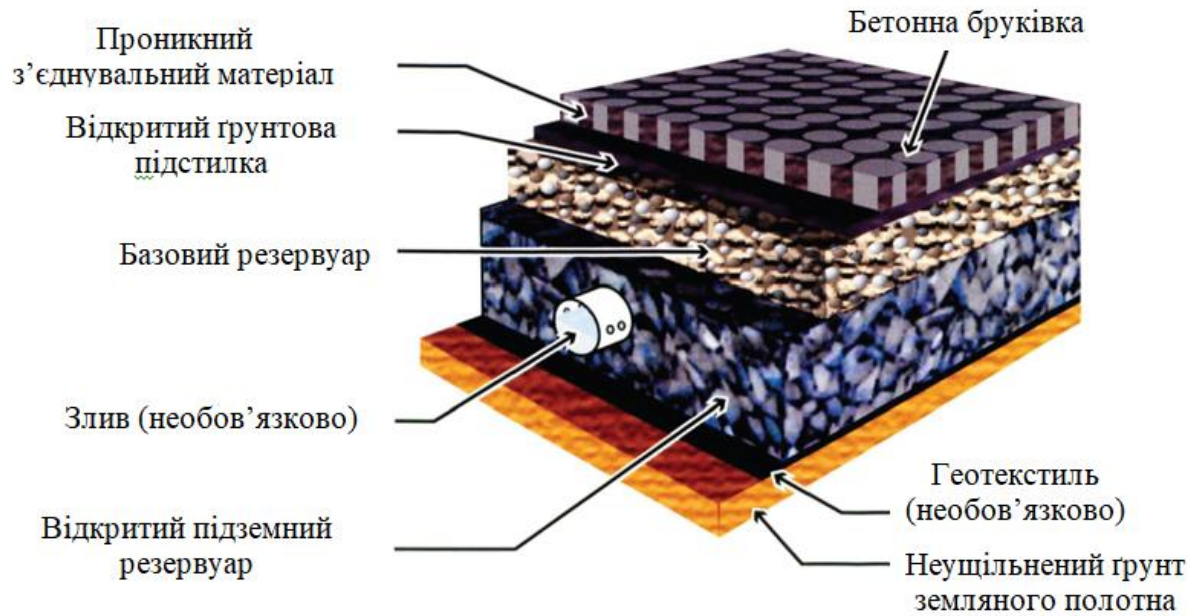


Рис. 4.3 Структура проникного дорожнього полотна

4.2.2 Основні категорії

Відповідно до матеріалів, що використовуються для покриття, дорожні покриття можна класифікувати за однією класифікацією на дві основні групи: ті, що укладаються на місці, такі як дорожній асфальт і дорожний бетон, і ті, що складаються з окремих блоків, встановлених на місці, такі як водонепроникна бруківка.

Класифікація в Посібнику з планування і проектування управління зливовими водами схожа, де матеріали поділяються на чотири типи: дорожний бетон (Рис. 4.4а), пористий асфальт (Рис. 4.4б), проникна бруківка (Рис. 4.4 в) і бетонні/пластикові сітки (Рис. 4.4 г). Очевидно, що перші два типи можна віднести до групи «дискретних елементів», а останні два - до групи «дорожніх покриттів з литим покриттям».



а)



б)



в)



г)

Рис. 4.4 Типи дорожніх покриттів:

- а) дорожній бетон;
- б) пористий асфальт;
- в) проникна бруківка;
- г) бетонні/пластикові сітки

Відповідно до того, як спроектована будівельна система, подібно до біоретенційних споруд, типи проникних систем дорожнього покриття також залежать від умов місцевих ґрунтів. Загалом існує три типи будівельних систем: система повної інфільтрації (без дренажу), система часткової інфільтрації (з дренажем) і система без інфільтрації (з дренажем і непроникним вкладишем).



Рис. 4.5 Категорії систем проникного дорожнього покриття:

- а) система повної інфільтрації (без дренажу);
- б) система часткової інфільтрації (з дренажем);
- в) система без інфільтрації (з дренажем і непроникним вкладишем).

За формою і структурою попередні бетони та асфальти схожі на традиційні бетони та асфальти. Основні відмінності полягають у тому, що дрібні матеріали (такі як пісок) були видалені зі структури попереднього бетону та асфальту, а їхні верхні шари товщі, ніж у традиційних дорожніх покриттів, для забезпечення стабільності. На сучасному ринку пропонуються різні типи проникних матеріалів для дорожніх покриттів різного призначення. Щодо вимог до матеріалів, то, як зазначено в Посібнику з управління зливовими водами, обмежувачі для країв бруківки повинні бути постійними. Для комерційних територій, приватних вулиць і доріг загального користування ширина обмежувачів повинна бути не менше 100 мм, а глибина - не менше 300 мм. Для житлових районів обмежувачі можуть бути виготовлені з пластику, який встановлюється за допомогою шипів.

4.2.3 Робочі процеси

Відповідно до «Проектування сталого розвитку: Інтегровані стратегії проектування для малих ділянок і житлових ландшафтів», основні процеси проникного дорожнього покриття для зменшення стоку включають в себе наступне:

1. Перехоплення, що здійснюється рослинністю, яка що росте у дорожньому покритті;
2. Випаровування, що також здійснюється за рахунок рослинного шару;
3. Інфільтрація, яка відноситься до руху води, що контактує з ґрунтами;
4. Накопичення, що здійснюється за рахунок відкритих просторів у дорожньому покритті та підкладці, які працюють як мікро-відстійники, що зберігають воду до тих пір, поки вона не буде випаровуватися в атмосферу, просочуватися у ґрунт або транспортуватися по дренажних трубах;
5. Біоремедіацію - процес зв'язування та розщеплення забруднюючих речовин мікроорганізмами, рослинами, корінням рослин і частинками ґрунту.

Певну увагу слід приділяти процесам проектування проникних тротуарів, наприклад: слід уникати будівництва проникних тротуарів над підземними паркінгами, господарськими сховищами, цистернами або іншими непроникними поверхнями; будівництва водопроникного покриття поверх насипних ґрунтів також варто уникати; має бути створено спеціальну конструкцію для утримання води під тротуарами з ухилом понад 5%, і слід уникати будь-якого ухилу більше 10%; якщо швидкість інфільтрації менше 50 мм на годину, то шар бруківки повинен покривати площу фільтрувальної стрічки.

Крім того, відповідно до Посібника з планування та проектування управління зливовими водами, водопроникні системи тротуарів можуть бути спроектовані для збирання стоку з прилеглих непроникних поверхонь, але співвідношення «загальної водонепроникної площі, що випускає стік» до

«загальної водопроникної площі, що приймає стік» не повинно перевищувати 6:5. Якщо існує будь-яка можливість засмічення проникних ділянок, то обробка стоків не рекомендується.

Крім того, для проникних для інфільтрації систем дорожнього покриття дно кам'яного резервуара має бути плоским, щоб рівномірно просочувати стік крізь поверхню ґрунту. Що стосується практики часткової інфільтрації та відсутності інфільтрації, дно повинно мати ухил від 1% до 5% у бік нижнього дренажу. Крім того, ухил земляного полотна не повинен перевищувати 5% у разі нестабільності основи, викликаній додатковим рухом води. Також потрібні відповідні обмежувачі для забезпечення кромкової опори асфальтоукладальників, щоб запобігти обертанню асфальтоукладальників під навантаженням і подальшому розсуванню швів.

Бетонні краї є першочерговим вибором, і в деяких випадках також можна використовувати пластикову або металеву зачистку.

Проникність проникної системи дорожнього покриття зменшиться через можливе засмічення забрудненнями, такими як дрібне каміння, осад та інше сміття. Через це водопроникні тротуари не повинні отримувати стоків з неасфальтованих ділянок, і для вирішення цієї проблеми потрібне технічне обслуговування, як-от вакуумне підмітання. Навіть поверхня тротуару засмічена на 90%, водопроникна система все одно повинна мати можливість проникати воді за проєктної кількості опадів. Граничною швидкістю інфільтрації є ґрунт земляного полотна. Рекомендована швидкість інфільтрації поверхні становить 75 мм на годину для 20-річного використання.

4.2.4 Основні переваги проникних покриттів

Як практика інфільтрації, здатність проникного тротуару зменшувати стік досліджували дослідницькими дослідженнями, розділеними на дві категорії: застосування з повною інфільтрацією та застосування з частковою

або непроникною бруківкою. Відповідно до результатів були зроблені оцінки: системи тротуарів з частковою і без інфільтрації забезпечили здатність до зменшення стоку на 45%, тоді як для систем тротуарів з повною інфільтрацією – 85%. Інше випробування на швидкість інфільтрації трьох матеріалів для покриття – проникного бетону та проникна бетонна плитка з блокуванням та бетонна сітка – у подібних місцях було зроблено в 2006 році. Результати показали, що попередній бетон демонстрував найкращу швидкість інфільтрації, яка становила 640–6600 см/год, а проникна бетонна плитка з блокуванням працювала приблизно від 100 до 4000 см/год. , тоді як швидкість інфільтрації бетонної сітки бруківки становить лише 0,99–18,8 см/год. Під час інфільтрації стоку проникні тротуари також мають ефективну здатність видаляти забруднювачі, включаючи поживні речовини, масла, бактерії та осідлі частки.

Ця обробка здійснюється шляхом уловлювання цих забруднюючих речовин і їх контакту з мікроорганізмами та рослинністю. Подібно до інших методів інфільтрації, потенціал проникних тротуарів для видалення забруднювачів стоку залежить від їх здатності проникати до стоку. Конструкції з повною інфільтрацією мають найбільший очисний потенціал, оскільки вони можуть збирати більшість забруднюючих речовин з непроникних поверхонь і вивільняти небагато у вигляді поверхневого стоку.

Інші переваги також можуть принести проникні тротуари, такі як: вони можуть пом'якшити ефект міського теплового острова, оскільки теплоємність і теплопровідність пористих матеріалів менші, ніж у традиційних непроникних тротуарів; вони можуть зменшити утворення калюж або затоплення під час дощових сезонів і можуть сприяти процесу видалення льоду в сніжну пору року; вони можуть зменшити навколишній шум, оскільки пористі поверхні здатні поглинати звукову енергію та зменшувати тиск повітря між шинами автомобіля та поверхнею землі.

4.3 Планта́тор

Планта́тор (або «дощоприймач») — це конструкційна рослинна ємність, виготовлена з міцного матеріалу, такого як бетон, цегла або камінь. Його головні цілі — збирати та очищати стоки, водночас осідати та фільтрувати забруднюючі речовини та осад.

Дощоприймачі виникли в Портленді, штат Орегон, Сполучені Штати Америки. Згідно з описом, дощову плантацію можна розглядати як «дощовий сад у коробці» або «надземний посадковий контейнер», а в Керівництві з управління зливовими водами вона описується як «структурний ландшафтний резервуар».

4.3.1 Основні категорії

Подібно до інших біоретенційних установок, дощові установки можна класифікувати за двома категоріями: інфільтраційні установки та фільтраційні установки (також звані «проточні ліхтарі»).

Інфільтраційна сівалка дозволяє воді просочуватися в систему ґрунтових вод (стік може протікати крізь верхню мульчу, а також через шар ґрунту для посадок і зрештою проникати в рідний ґрунт), тоді як фільтраційна сівалка не дозволяє процесу інфільтрації, і вона лише спрямована для очищення стоку (стоку також дозволяється протікати крізь верхню мульчу, а також через внутрішній шар ґрунту, але він запобігає проникненню в рідний ґрунт і збираються дренажними трубами, а потім направляються до затверджених пунктів утилізації).

Завдяки цьому розмір фільтраційної сівалки може бути меншим, ніж інфільтраційна, оскільки її основне призначення — контролювати якість стоку, а не кількість.

4.3.2 Загальна структура

Як показано на рисунку 4.6, загальна структура інфільтраційної плантатора складається з чотирьох шарів, які зверху вниз включають: шар

рослинності, шар ґрунту для посадки, розділовий шар (фільтруюча тканина або дрібний заповнювач) і дренаж. шар (під яким знаходиться підстилка).

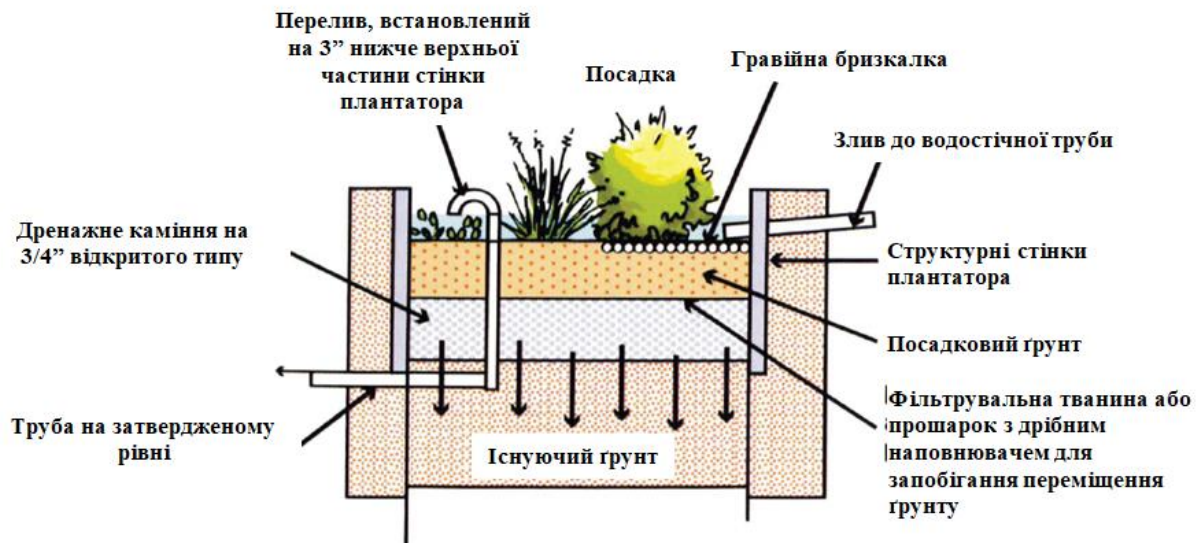


Рис. 4.6 Структура інфільтраційного плантатора

Як показано на рисунку 4.7, порівняно з інфільтраційною установкою, основні відмінності фільтраційної установки полягають у тому, що під дренажним шаром додається непроникний вкладиш для запобігання інфільтрації води в природний ґрунт, а в дренажному шарі додається перфорована дренажна система для відведення надлишкової води.

4.3.3 Придатність до застосування

У наступних випадках слід використовувати фільтраційні плантатори замість інфільтраційних:

- 1 Коли швидкість інфільтрації рідного ґрунту занадто низька, щоб вчасно відводити воду для безпеки рослин;
2. Коли ґрунтові води або місцеві ґрунти можуть бути забруднені;
3. Якщо ділянка знаходиться на відстані менше 30 метрів від колодязя;
4. Якщо місцевість зсувонебезпечна або має нахил понад 10%;

5. Якщо місце розташування знаходиться в зоні нового насипу (менше 5 років);

6. Якщо ділянка знаходиться в зоні можливого розливу нафтопродуктів;

7. Якщо розташування знаходиться на відстані менше 3 метрів від будівлі або фундаменту стіни.

(Згідно з Посібником з управління зливовими водами, відстань становить 1,5 метра від лінії огорожі та 3 метри від фундаменту будівлі).

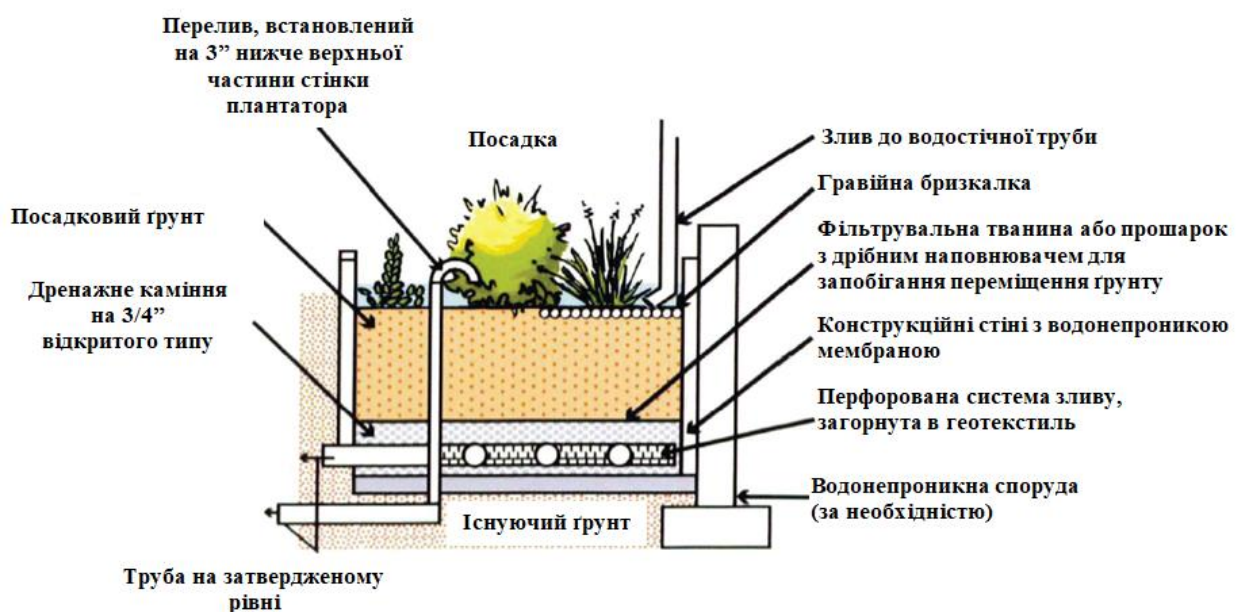


Рис. 4.7 Структура фільтраційного плантатора

4.3.4 Деталі конструкції

Ширина (виміряна від площі внутрішніх стінок плантатора) інфільтраційної установки має бути не менше 760 мм, а фільтраційної сівалки – більше 460 мм. Мінімальна глибина зберігання (від верху середовища для росту до висоти входу переливу) становить 300 мм. Дощоприймач повинен бути сконструйований плоским і без ухилу в будь-якому напрямку допускається більше ніж 0,5%.²⁰¹ Крім того, для дна

інфільтраційної сівалки відстань від основи має бути більше 600 мм, а від ґрунтових вод – більше 900 мм.

Швидкість інфільтрації як субстрату (ґрунту для посадки), так і основи (природного ґрунту) не має бути ні занадто високою, ні занадто низькою. Якщо показники занадто високі, «часу утримання» для очищення води буде недостатньо; якщо ставки занадто низькі, це не буде добре для безпеки рослин.

Відповідно до Посібника з управління зливовими водами, рівень інфільтрації земляного полотна слід перевірити перед будівництвом дощової установки. Якщо результат перевищує певне значення, то слід застосувати систему інфільтрації; якщо рівень інфільтрації нижчий. Крім цього, слід застосувати систему фільтрації.

4.3.5 Вибір рослин

Вибір рослин для дощоприймача може бути найрізноманітнішим, включаючи різні види дерев, кущів, трав і ґрунтопокривної рослинності. Для ефективності очищення води та боротьби з бур'янами краще застосовувати густу рослинність. Крім того, рослини, стійкі до повеней або посухи, повинні бути першим вибором, щоб зменшити витрати на технічне обслуговування. Крім того, декоративні рослини, такі як різнокольорові трави, чагарники та багаторічні квіти, повинні бути прийняті до уваги для естетичної привабливості ландшафту. Загалом місцеві рослини мають мати пріоритет не лише тому, що екзотичні види можуть мати великий вплив на місцеве середовище проживання та гідрологію, а й тому, що місцева рослинність може забезпечити кращий ресурс для місцевої екосистеми. Крім того, для безпеки місцевого навколишнього середовища та територій, розташованих нижче за течією, бажані види не повинні потребувати додаткових пестицидів або добрив, а шкідливих видів слід уникати.

4.3.6 Основні переваги плантаторів

Як згадувалося вище, інфільтраційні плантатори здатні зменшити швидкість потоку та об'єм зливової води, а фільтраційні плантатори ефективні для видалення забруднюючих речовин і осаду зі стоків. Згідно з оцінкою Центру захисту водозбору, здатність дощоприймачів зменшувати стік становитиме від 40% до 80%, тоді як швидкість їхнього видалення фосфору становитиме від 25% до 50%, а азоту – від 40% до 60%.

Дощоприймач може бути розроблений для розміщення практично в будь-якій місцевості.

Завдяки гнучкості дизайну та розташування, дощоприймач може підвищити естетичну привабливість навколишньої території та залучення дикої природи. Крім того, порівняно зі звичайними дощовими садами, дощові плантатори мають здатність накопичувати більше води завдяки іншій своїй структурі.

4.4 Фільтрувальні смуги та вали

4.4.1 Фільтрувальна смуга

Фільтрувальна смуга — це, по суті, рослинна ділянка з пологим нахилом, що приймає поверхневий потік (мілководдя та широко розповсюджену воду) з прилеглих водонепроникних поверхонь, тим часом розриваючи та сповільнюючи потік, тим самим зменшуючи загальний стік і затримуючи осад і забруднюючі речовини всередині (Рис. 4.8).

Фільтрувальна смужка виступає в якості компонента системи очищення дощової води в кількох процесах. По-перше, це може уповільнити потік листів, отриманих із суміжних територій під час дощів; по-друге, коли стік протікає через рослинні поверхні фільтрувальної смуги, вода буде проникати в ґрунт, а тим часом забруднювачі, що переносяться стоком, будуть затримуватися рослинністю та ґрунтом, тому наступний приймач стоку не буде бути забрудненим; по-третє, коли трапляються зливи, рослинний шар може стабілізувати поверхню ґрунту і, таким чином, запобігти ерозії ґрунту стоком.

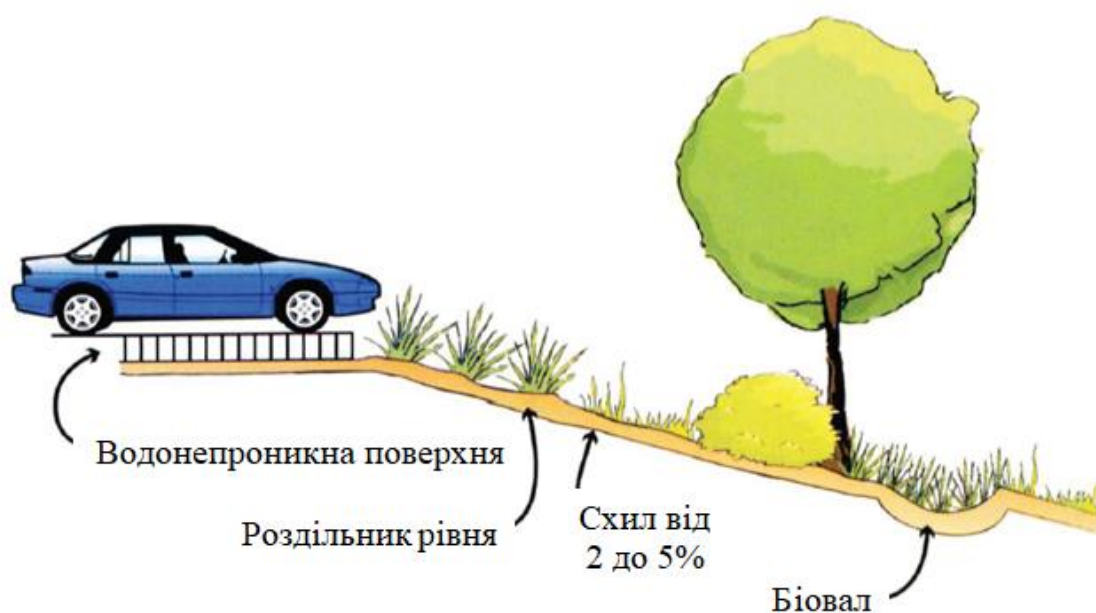


Рис. 4.8 Типове застосування фільтрувальної смуги

Вся площа фільтрувальної стрічки має бути покрита місцевою рослинністю, такою як трави, суміші польових квітів, ґрунтовий покрив або будь-яка інша комбінація. Розсіювачі рівня у вигляді траншей, заповнених піском, гороховим гравієм, травою або щебенем, можуть бути встановлені вздовж переднього краю фільтруючих смуг для рівномірного розподілу потоку стоку.

Верх розкидачів повинен бути рівним і відповідної висоти, щоб спрямувати потік листів у ґрунт безпосередньо, без розмивання. Подрібнений вапняк можна використовувати для заповнення стрічкових фільтрів, встановлених у комерційних приміщеннях, де поверхневий стік може бути забруднений важкими металами. Крім того, встановлення фільтруючих смуг має бути розташоване на відстані більше 1,5 метрів від межі території, 3 метрів від будівель і 15 метрів від струмків, струмків, річок і заболочених місць.

Відповідно до Посібника з управління зливовими водами, ширина (виміряна в напрямку потоку) фільтруючої смуги не повинна бути меншою за 1,5 метра, а нахил має становити від 0,5% до 6%²¹⁸ (відповідно до «Проектування екологічно безпечного місця: інтегровані стратегії проектування»). для невеликих ділянок і житлових ландшафтів нахил не повинен перевищувати 5%²). Крім того, ухил прилеглих ділянок тротуарів, які відводять воду до фільтрувальної стрічки, не повинен перевищувати 6%. Потрібні щільні насадження рослинності, а на смугах слід уникати внесення добрив або інших методів, які можуть спричинити забруднення. Щодо вибору рослин, як стійких до повеней, так і посухостійких, а також високорослих і глибоко вкорінених видів, можна розглянути можливість виживання та здатність керувати стоком.

Фільтрувальна смуга може надати цій ділянці багато переваг, зокрема зменшити шкоду від повеней, зменшити забруднення води, створивши тим самим кращу водну екосистему, зменшивши ерозію ґрунту, забезпечивши

таким чином середовище існування для диких тварин, створивши привабливий ландшафт, тим самим покращивши естетичну цінність ділянки.

4.4.2 Вал

Вал — це довга западина з невеликою глибиною та вузькою шириною, призначена для тимчасового збору та транспортування стоку, таким чином зменшуючи загальну швидкість стоку та видаляючи деякі забруднюючі речовини у воді. Як показано на рис. 4.9, вали цілком придатні для управління стоком із лінійних ділянок, таких як тротуари, під'їзні шляхи, шосе та інші дороги, оскільки вони, по суті, є довгими та вузькими западинами. Крім того, для транспортування та очищення стоків з дахів, автостоянок та інших озелених територій, таких як двори та парки, також підходять вали.

Відповідно до різних структур, вали можна класифікувати на дві основні категорії:

- «покращені трав'яні вали» (також звані «посилені трав'яні») та «біологічні» (також названі «інфільтраційними» або «сухими»). Покращені рослинні вали - це, по суті, відкриті канали з рослинністю для транспортування, очищення та послаблення стоку дощової води;

- Біологічні вали можна розглядати як «покращені рослинні вали, що містять створений ґрунт (такий як середовище для вирощування або фільтрувальне середовище), дренаж з перфорованою трубою (необов'язково) та камери біоутримання (які сконфігуровані як лінійні відкриті канали)». Завдяки цим відмінностям, біологічні вали краще контролюють кількість і якість води, ніж рослинні вали.

Відповідно до способу рослинності мілководної зони, вали також можна класифікувати на дві групи: «трав'янисті» і «рослинні». Трав'янисті вали зазвичай покриті короткими дернинами, і вони більше підходять для місць, де включається стік води. Вегетативні трав'яні вали — це ті, де використовуються багаторічні насадження (дерева, кущі та ґрунтопокривні рослини), і їх основна функція полягає в сприянні інфільтрації.

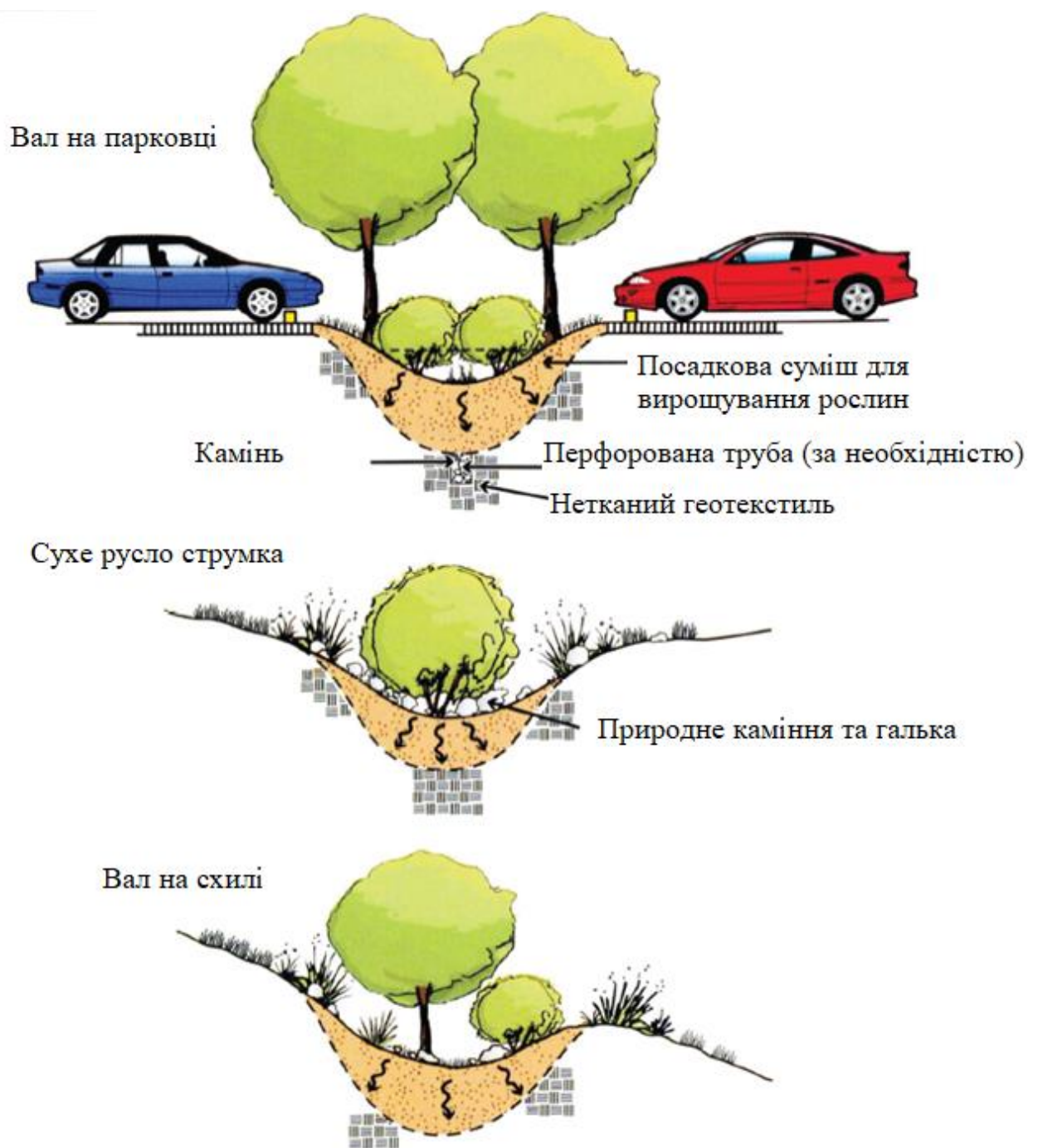


Рис. 4.9 Типове застосування валу

Вали також можна класифікувати на «сухі» та «мокрі». Сухий вал діє як біоутримувач, який тимчасово зберігає, фільтрує та пропускає дощову воду, який має залишатися сухим протягом періодів відсутності опадів; у той

час як мокрий вал виконує функцію покращення якості води подібно до водно-болотних угідь, оскільки він зазвичай залишається вологим через низький рівень дна (нижче рівня ґрунтових вод).

Уздовж берегів слід періодично встановлювати запірні дамби для сприяння інфільтрації та уповільнення потоків. Якщо місце встановлення має похил, запірні дамби можуть порушити схил і запобігти ерозії, спричиненій надмірним потоком. Матеріали мають бути нетоксичними та міцними, наприклад бетон, цегла, камінь або ґрунт. Ширина і глибина запірних дамб залежать від валика.

Подібно до інших біоутримувальних установок, рівень інфільтрації рідних ґрунтів визначатиме тип волокон. Під час випробування, проведеного перед будівництвом, якщо рівень інфільтрації перевищує певне значення, то стяжку слід будувати як «систему інфільтрації»; якщо рівень інфільтрації нижчий за вказаний, то слив повинен бути побудований як «система часткового проникнення» або «проточна система». Крім того, якщо це інфільтраційний вал, то відстань між місцем будівництва має бути більше 1,5 метра від межі території та 3 метри від фундаменту будівлі, а для проточного ската такої вимоги немає.

Відповідно до Посібника з управління зливовими водами, на приватних територіях вал має бути побудований більше ніж 1,5 метра у ширину, а на вулиці – більше 2,4 метра. Дно має бути пласким і шириною не менше 0,6 метра. Бічний ухил не може бути більше 1:3, а в пішохідній зоні не більше 1:4. Поздовжній ухил має бути менше 6%.

Відповідно до Посібника з планування та проєктування управління зливовими водами, нижня сторона водостоку повинна мати ширину від 0,75 до 3,0 метрів. Максимальний бічний ухил для посиленої рослинності – 1:2,5, а для біо-1:3. Поздовжній ухил повинен бути від 0,5% до 4%. Крім того, якщо з дамбами, то поздовжній ухил має бути більше 3%.

Відповідно до «Проєктування сталого місця: інтегровані стратегії проєктування для малих ділянок і житлових ландшафтів», типовий нахил

становить від 1% до 6%, а оптимальний показник — від 1% до 2%. Для вибору видів рослин необхідно краще висаджувати багаторічними рослинами, як-от поєднання дерев, кущів і почвопокровних рослин [45], і подібні до фільтрувальної смуги, стійкі як до повеней, так і до посухи, а також як високі, так і глибоко вкорінені види, були б хорошим вибором, оскільки вони здатні виживати та керувати стоком. Але рослини, які обмежують надто великий стік, не будуть оптимальним вибором щодо потужності транспортування води.

Загальна площа вала, включаючи бічні схили та дно, має бути засаджена рослинністю, а глибина середовища для вирощування - близько 450 мм. Нижче середовища для вирощування може бути шар дренажної породи, а між двома шарами треба встановлювати розділовий шар (який може бути зроблений з фільтрувальної тканини). Якщо передбачається переповнення, то вал має бути підключений до основної дренажної мережі через дренажну трубу. На території приватної власності у якості матеріалу для виготовлення труб краще використовувати чавун (PBX SCH40 або ABS SCH40). Крім того, потрібні труби діаметром 75 мм, якщо загальна водонепроникна площа дренажу становить менше 140 м²; Труби 100 мм потрібні, якщо загальна площа більше 140 м². У вуличних зонах потрібні PBX-труби 150 або 200 мм ASTM 3034 SDR 35 і перфоровані труби. Відповідно до Керівництва BMP для ливневих вод штату Пенсільванія, тимчасове зберігання, а також інфільтрація для 25-мм зливи та транспортування для десятирічної зливи мають бути представлені рослинними валами. З цією метою слід підтримувати середню глибину водойми 300 мм на всьому протязі та максимальну глибину 450 мм у кінцевій точці каналу. Тривалість затримки має бути більше 30 хвилин і менше 48 годин, починаючи з яких бажано 24 години. Згідно з деякими дослідженнями, при глибині протікання води менше 150 мм вали проявляють максимальну фільтруючу здатність. Вищі швидкості течії призведуть до зниження рівня

фільтрації, і рослинність буде згинатися, якщо вона буде занурена у воду, що зменшить шорсткість валу.

Регулювання кількості стоку

Замість того, щоб зберігати воду постійно, вали беруть участь в управлінні водними ресурсами лише під час дощу, дозволяючи стоку просочуватися в ґрунт і тим часом фільтруючи забруднюючі речовини, накопичуючи і утримуючи воду протягом декількох годин або днів, перш ніж спрямовувати її в наступні очисні споруди, такі як дощові сади або ставки.

Здатність затримувати стік у природних валах була доведена деякими тестами, які показали, що вони краще затримують стік, ніж у штучних валах. Згідно із результатами тестів, 41% стоку було затримано лугоподібними валами, змішаними з квітучими рослинами та місцевими травами, у той час як лише 27% було затримано валами, вкритими низькорослими дерновими травами.

Контроль якості стоку

Для біологічних валів їх здатність до очищення стоку і здатність до видалення забруднюючих речовин подібна до інших біоретенційних споруд [46]. Для поліпшених рослинних валів видалення забруднюючих речовин, як правило, відбувається шляхом інфільтрації, а не фільтрації, оскільки рослинність або зворотна дамба здатні лише тимчасово затримувати забруднюючі речовини на поверхні валу.

Швидкість видалення забруднюючих речовин з валів залежить від концентрації забруднюючих речовин у стічних водах, і для більшості забруднюючих речовин їх очисна здатність є помірною. За результатами деяких досліджень, швидкість видалення з поліпшених рослинних валів загального азоту становить 50%, загального фосфору - 55%, загальних завислих речовин - 76%, і загальної міді та цинку - 60%. На швидкість видалення також впливають специфічні фактори, такі як довжина валу, рослинний покрив, швидкість інфільтрації, тип ґрунту і нахил валу.

4.5 Дощовий сад

Дощові сади - це, по суті, неглибокі засаджені западини (зазвичай глибиною від 100 до 200 мм), які приймають, вбирають і фільтрують стічні води з інших територій, таких як дахи, внутрішні дворики, під'їзні шляхи або інші тверді поверхні. Вони призначені не для транспортування води, а для збору і поглинання стоків, які на 30% більше, ніж ті, що інфільтруються звичайним газоном, а також для того, щоб забруднюючі речовини, що переносяться водою, осідали і фільтрувалися у періоди, коли стоки протікають крізь рослинність і просочуються в ґрунт.

За методами озеленення та інфільтрації дощові сади схожі на інші очисні споруди, такі як зливові плантації, інфільтраційні вали та ставки-відстійники, але ці споруди відрізняються від дощових садів розміром, формою або способом очищення води. Дощові сади займають відносно більші площі і відіграють роль «крапки» або «суттєвої коми в ланцюгу зливових вод», поглинаючи якомога більше зливової води.

4.5.1 Історія застосування. Базова структура дощового саду

Як показано на Рис. 4.10, базова структура дощового саду включає чотири шари: рослинний шар, шар мульчі, шар ґрунтової суміші та існуючий шар ґрунту. Рекомендована глибина ґрунтосуміші становить від 300 мм до 600 мм; типова глибина ставка (від найнижчого рівня мульчі до рівня переливу) - від 150 мм до 300 мм; максимальний боковий нахил шару мульчі становить від 2 горизонтальних до 1 вертикального. Щоб збільшити здатність відведення води, під садом слід закласти високопористий ґрунт (з додаванням піску або компосту). У деяких випадках для швидкого дренажу також потрібен гравійний резервуар і перфорований субдренаж.

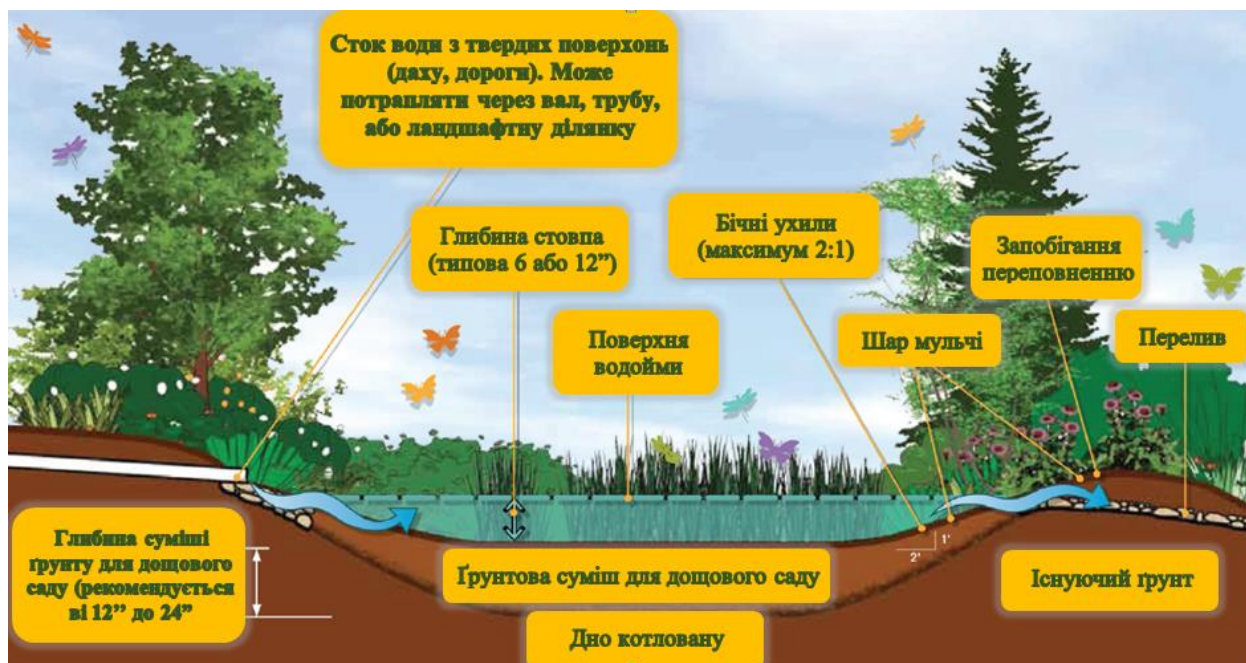


Рис. 4.10 Загальна структура дощового саду

Рослини формують верхній шар конструкцій дощових садів і виконують різноманітні екологічні та естетичні функції [48]. Важливість рослинності для дощових садів визнається у світових рекомендаціях з проєктування таких систем, більшість з яких пропонують конкретні критерії для вибору відповідної рослинності [49].

Загальні рекомендовані характеристики рослинності для проєктування дощових садів представлені на рисунку 4.11

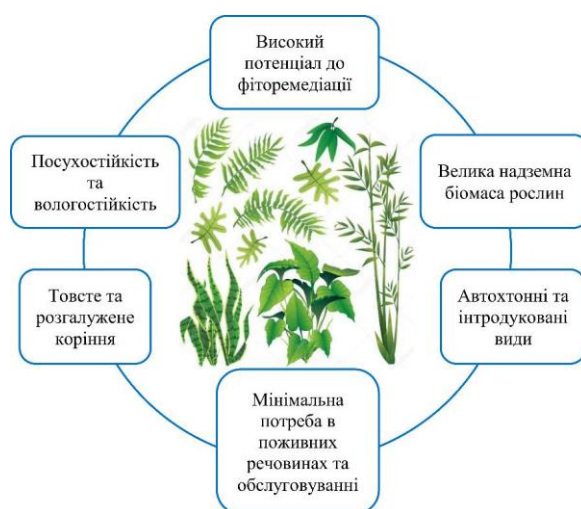


Рис. 4.11 Рекомендації до рослин, що використовуються для створення дощових садів [63]

Дощові сади можна розглядати як невеликий тип сталого управління зливовими водами і є найбільш популярним компонентом у всіх видах територій, таких як громадські, житлові та комерційні райони.

Дощові сади завжди розглядаються як ефективний компонент для вирішення екологічних проблем, таких як дощові паводки або забруднення, але вони не будуть працювати стабільно, якщо не приносять задоволення власникам. Важливо, щоб сад дощу був багатофункціональним місцем, а не зосереджувався на одній проблемі, і дуже важливо поставити переваги, орієнтовані на людину, на один рівень з екологічними перевагами.

Згідно з книгою «Дощовий сад: Посібник для домашніх садів» від Вісконсинського університету, існують певні проблеми, які слід взяти до уваги при проектуванні дощового саду:

1. Мінімальна відстань між дощовим садом і будинком становить 3 метри, для того щоб вода, що інфільтрується, не просочувалася у фундамент;
2. Дощовий сад не слід розміщувати безпосередньо над будь-якою септичною системою;
3. Не слід будувати сад для дощу в тінистій місцевості без доступу сонячних променів;
4. Дощовий сад не слід розміщувати на ділянці, де є водойми, оскільки мокрі плями свідчать про повільну інфільтрацію;
5. Для будівництва дощового саду краще підходять плоскі ділянки, оскільки копати землю буде легше.

Для реалізації максимальної здатності збирати стічні води дощовий сад повинен бути звернений до схилу довшою стороною, довжина якої повинна бути вдвічі більшою за довжину коротшої сторони (яка рекомендується принаймні 3 м завширшки); якщо схил перевищує 12%, буде необхідне перекопування ґрунту.

У дощовому саду слід розмістити ґрунт глибиною щонайменше 1 м або ґрунт, що просочується, до досягнення непроникних корінних порід, а верхнім шаром має бути верхній шар ґрунту глибиною 0,3 м.

Види рослин, які підходять для дощових садів, повинні бути здатні переносити як тимчасове затоплення, так і посушливі умови, оскільки затоплення відбувається не постійно, а періодично.

Швидкість інфільтрації рідного ґрунту повинна відповідати вимозі «коли дощовий сад наповнений стоком, вода просочується в ґрунт протягом 24-48 годин», щоб рослини не стояли у воді занадто довго.

Основні переваги дощових садів:

1. Вони можуть фільтрувати забруднюючі речовини, що переносяться стоками, такі як пестициди та добрива для газонів, витоки рідини з транспортних засобів, такі як масло, та інші шкідливі речовини з дахів або тротуарів, тим самим захищаючи приймаючі води від забруднення;

2. Вони можуть забезпечити цінне середовище існування для диких тварин, таких як метелики, птахи та корисні комахи;

3. Вони можуть поповнювати водоносні горизонти, сприяючи інфільтрації стоків у землю;

4. Зменшують негативні наслідки повеней, спричинених зливами;

5. Підвищують естетичний рівень ділянок;

6. Оскільки вода повинна стікати протягом 24-48 годин, а комарам потрібно більше часу (зазвичай від 7 до 12 днів) для відкладання і висиджування яєць, дощовий сад не створить проблеми з розмноженням комарів;

7. Зазвичай будівництво дощового саду не є дорогим, і він не потребує особливого догляду після завершення будівництва.

Також основні переваги комплексного підходу, розглянуті у роботі [64], показані на рис. 4.12

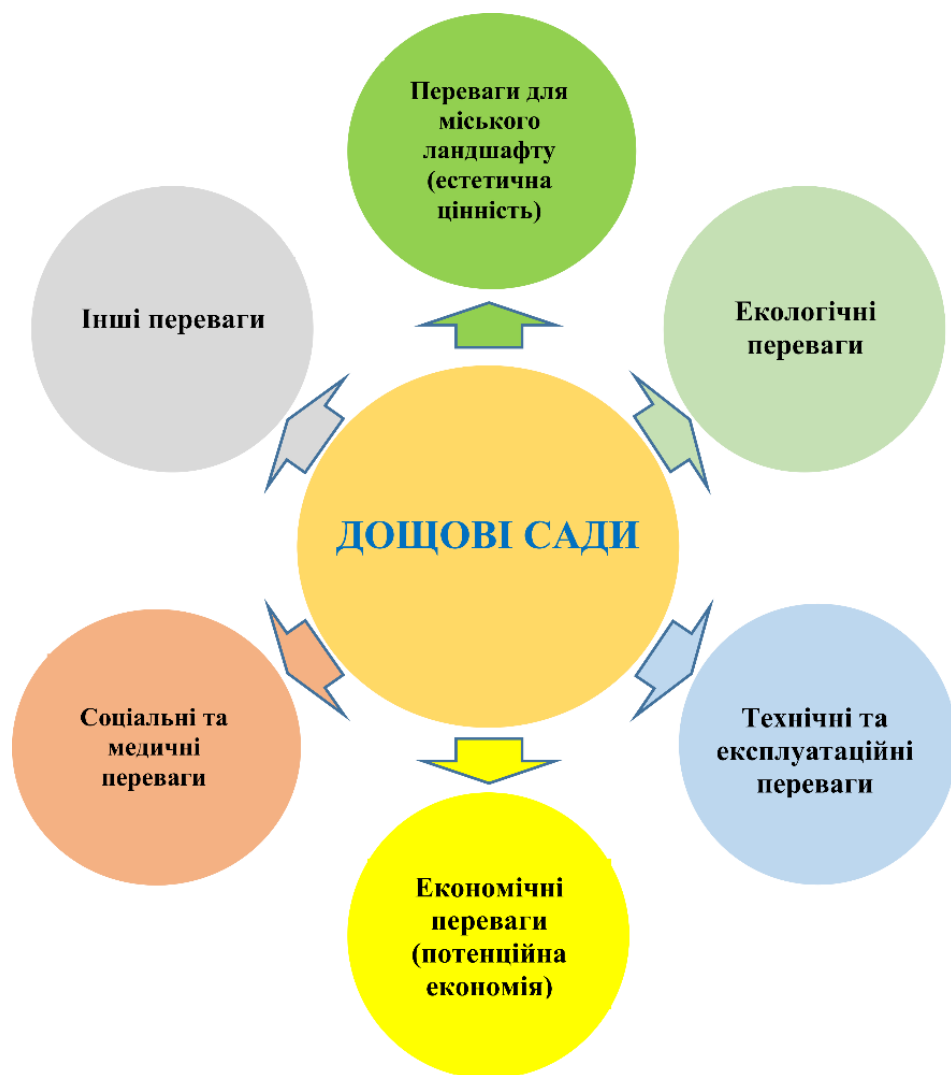


Рис. 4.12 Основні переваги дощовиг садів при комплексному підході до проєктування

4.5.2 Здатність до очищення забруднювачів

Згідно з результатами деяких досліджень змодельованих стоків, створені двофазні дощові сади здатні ефективно видаляти біогенні забруднювачі та забруднювачі, що містять гербіциди, при високих рівнях забруднення. Коефіцієнт видалення нітратів становить 91%, фосфатів - 99%, атразину - 90%, дикамби - 92%, гліфосату - 99%, 2,4-дихлорфенокси - 90%. Інші дослідження також показали, що загальне зниження навантаження $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP і TN з цільового дощового саду становило понад 50%, але значення зниження зменшувалося зі збільшенням часу моніторингу.

Здатність дощового саду очищати забруднювачі в основному залежить від взаємодії поглинання рослинами, мікробіологічної деградації та фільтрації в модифікованому середовищі. Загалом, термін служби дощового саду можна розділити на три періоди:

1. Протягом перших 1-3 років дощовий сад перебуває у «віці зростання» з невеликим рослинним покривом і невеликою кількістю мікробних спільнот, швидкість поглинання і розкладання забруднюючих речовин яких є нижчою, ніж у фільтруючого матеріалу;

2. Протягом наступних 5-8 років дощовий сад можна розглядати як «дощовий сад середнього віку», з підрослими рослинами і розширеними мікробними спільнотами, асиміляція і деградація забруднюючих речовин в якому досягне динамічної рівноваги з адсорбцією фільтруючим середовищем;

3. Протягом останніх 10-15 років дощовий сад переходить у «старший вік» через насичення поглинальної здатності фільтруючого середовища, і робота з очищення в основному залежить від рослинності та мікроорганізмів.

Дощові сади мають низку унікальних переваг (див. рис. 4.12), тому вони продовжують привертати значну увагу і широко використовуються в таких країнах, як США, Австралія, Китай, Великобританія, Канада, Сінгапур та Нова Зеландія [59].

Проекти дощових садів уже впроваджено в Україні. Так, наприклад, створений активістами ГО «Плато» дощовий сад у Львові (вул. Бандери, 15) (рис. 4.13, а), у Рівному (вул. Словацького) (рис. 4.13, б), а також дощові сади у різних районах Києва : Дніпровському (вул. Воскресенська, 12-Г) (рис. 4.13, в) та Деснянському (пр. Р. Шухевича) (рис. 4.13, г). Такий досвід створення стійких еколандшафтів у Києві мають архітектурні студії «Формографія» та «Земля».



Рис. 4.13 Реалізація проєктів дощових садів в Україні:

а) м. Львів; б) м. Рівне; в), д) м. Київ

Впровадження таких систем в Україні потребує більш глибокого та серйозного наукового обґрунтування, що зумовлює необхідність проведення детальних досліджень і розробки моделей для оцінки ефективності роботи дощових садів у локальних умовах. Важливо дослідити гідрологічні та фільтраційні процеси, характерні для цих систем, і пристосувати їх до особливостей клімату та ґрунтів України, щоб забезпечити їхню оптимальну функціональність [63].

4.6 Ставок

Зазвичай у системах обробки дощової води застосовують три типи ставків: постійно заповнений ставок, розширений постійно заповнений ставок та сухий ставок.

Постійно заповнений ставок (також відомий як "ставок-накопичувач" або "резервуар-накопичувач") — це "непроникна водойма, яка постійно утримує воду". Він виступає одним із завершальних елементів у системі обробки дощової води, де збирається стік, і служить остаточним резервуаром для утримання води.

Сухий ставок (також відомий як "сухий ставок-детенція" або "резервуар-детенція") — це " водойма, яка висихає під час періодів низьких опадів і наповнюється лише під час дощів; зібрана вода випускається протягом кількох годин". (Рис. 4.14)

Розширений постійно заповнений ставок поєднує в собі риси обох типів: він має постійно заповнений резервуар та додатковий об'єм, який наповнюється водою лише під час сильних дощів і випускається протягом кількох годин [62-63].



Рис. 4.14 Сухий та заповнений ставок (до дощу – зліва, після дощу – справа)

Для очищення води можна рекомендувати технологію відстоювання. Це може бути доступним рішенням для зменшення забруднення води, оскільки багато забруднювачів у міських стоках перебувають у стані суспендованих твердих частинок. «Перетворення відстійників (які вже

існують у деяких районах) на багатофункціональні басейни для видалення та зберігання твердих забруднювачів» буде здійсненним, економічним та ефективним підходом до контролю якості стоків [49-51].

Ця ідея була закладена в програмах Служби охорони ґрунтів і вперше була впроваджена в урбанізованих районах в деяких дослідженнях (які починаються з 1975 року) щодо неточкових джерел забруднення. Оскільки основною метою застосування басейну відведення є реалізація потенціалу контролю якості води, і оскільки середнє навантаження забруднюючих речовин зазвичай міститься у відносно менших скидах, що відбуваються після невеликих паводків, які трапляються кілька разів на рік, ефективність контролю кількості води у басейні відведення не буде цільовою [52].

Фактично, для того, щоб досягти достатньої ефективності осадження твердих частинок, потенціал контролю кількості води буде певним чином принесений в жертву, через скорочення деяких протипаводкових випусків, задля подовження терміну затримки стоку.

Переваги для біорізноманіття

Рівень води у вологих ставках нестабільний, він піднімається під час сильного дощу і падає через певний час. Це може призвести до утворення вологих ділянок, які можуть забезпечити потенціал середовища існування для біологічного різноманіття.

Крім того, біологічному різноманіттю може сприяти географічне різноманіття, наприклад, поєднання мілководь і торосів. Невеликі вологі ставки відіграють досить важливу роль у захисті та підтримці біорізноманіття.

Наприклад, понад дві третини тварин і рослин водно-болотних угідь у Великій Британії підтримуються водно-болотними угіддями. Для більшості водно-болотних тварин одним з найважливіших факторів є забезпечення достатньої стабільності водно-болотних угідь. Це означає, що різкі перепади рівня води (які трапляються, коли велика кількість стоку потрапляє у ставок під час зливових дощів, а потім стікає) повинні бути зведені до мінімуму.

Крім того, мокрий ставок та його донні відкладення будуть порушені (що в подальшому призведе до помутніння води та росту водоростей) внаслідок підйому води, спричиненого швидким притоком. Щоб уникнути цього, слід уникати прямого притоку з основних джерел зливових вод у мокрий ставок (наприклад, води з водостічних труб) (це означає, що мокрий ставок має бути розташованим після інших методів очищення зливових вод) [53].

Придатність до застосування

Оскільки сухі відстійники потенційно не настільки привабливі, як мокрі, особливо через відсутність естетичного вигляду берегів, вони не дуже підходять для невеликих приватних садів (за винятком випадків, коли сухі ставки можна використовувати як басейни з гладким дном для багаторазового використання в посушливий сезон).

Що стосується вартості басейнів для утримання, необхідно враховувати деякі питання, такі як розмір і кількість басейнів, належне обслуговування басейнів і наявність комах-переносників (наприклад, комарів).

З одного боку, на думку більшості аналітиків, відносно більші басейни є більш економічними; з іншого боку, невеликі басейни все ще мають деякі переваги, такі як гнучке розташування будівельних басейнів, зручність розподілу обов'язків з обслуговування та фінансові заощадження від державного планування та будівництва [54].

Деякі деталі проєктування

З міркувань безпеки глибину і схили ставка слід проєктувати якомога помірнішими наскільки це можливо. Глибина по периметру ставка має бути рівномірно розподілена і не перевищувати 0,6 метра. Ухили у ставку не повинні перевищувати 1 вертикальний до 3 горизонтальних. Структура басейну затримання має бути розділена щонайменше на дві камери, з яких на камеру попереднього утримання повинно припадати близько 10% проєктної площі.

Крім того, в передбережній камері сухого ставка-накопичувача слід передбачити мінімум 150 мм для накопичення осаду. Кромка водної поверхні

знаходиться на відстані не менше 6 метрів від ліній власності та споруд. Відстань між підшовою бермового насипу ставка і крайньою лінією власності становить 50% від висоти берми, а мінімальна відстань - 1,5 метра.

Край водної поверхні повинен знаходитися на відстані не менше 30 метрів від колодязя, розподільчого ящика, септика або зливного поля септика. Максимальний ухил прилеглої території - 10%. Кромка водної поверхні - на відстані не менше 60 метрів від вершини схилу, крутизна якого перевищує 15% [55].

Потенційне забруднення

Як колектор стоку в ланцюзі зливової каналізації, мокрий ставок дуже легко забруднюється різними речовинами, такими як розчинні забруднювачі, органічні сполуки та важкі метали. Потенційно токсичні елементи завдадуть шкоди дикій природі, тим часом водорості будуть рости, оскільки рівень поживних речовин у воді збільшиться (вона також стане зеленою і каламутною). У зв'язку з цим, необхідно встановити мокрий ставок після інших методів очищення зливових вод (таких як невеликі очеретяні зарості, інфільтраційні смуги і вали), які можуть попередньо очищати стік і діяти як буферні зони між джерелами стоку і приймачем стоку. Крім того, важливо також запобігти потраплянню у вологий ставок дренажних вод з потенційних джерел забруднення, таких як сильно удобрені газони або дороги [56].

Також важливо уникати надмірного сонячного опромінення відкритих водних ділянок, оскільки високий рівень освітлення збільшує надходження тепла у водойму, сприяючи тим самим росту водоростей і розвитку анаеробних умов. Одним з рішень для контролю рівня освітленості є затінення поверхні води за допомогою посадкових матеріалів (цвітіння водоростей скоротиться, якщо половина поверхні води буде затінена).

«Місто-губка» - це концепція вирішення проблем, пов'язаних з водою в містах. Основною метою цієї концепції є створення еколого-економічного шляху розвитку в умовах збереження природних водних ресурсів та

відновлення забруднених водних об'єктів. Практичні процеси концепції «міста-губки» включають інфільтрацію, затримання, утримання, очищення, утилізацію та відведення дощової води.

Ключовими підходами до реалізації концепції «міста-губки» є застосування систем біоретенції та створення потокових ліній очищення зливових вод.

Система біоретенції - це практика вирішення проблем, пов'язаних з якістю та кількістю води, за допомогою рослин, мікроорганізмів та ґрунту на певній території. Основні поняття, пов'язані з системою біоретенції, включають фіторе mediaцію, яка стосується використання рослин для очищення забрудненої води, біоре mediaція - використання живих мікроорганізмів для видалення забруднювачів і відновлення природного середовища, органічна речовина ґрунту - всі органічні матеріали (за винятком надземних живих рослин), пов'язані з ґрунтом: його ущільнення, структурний стан - обидва поняття стосуються питань стану ґрунту і впливу на ріст та розвиток рослин.

Технологічний ланцюг очищення зливових вод - це комплексний підхід, який з'єднує ряд очисних споруд один з одним, утворюючи безперервний ланцюг управління зливовими водами, щоб врахувати всі аспекти руху стоків на цільовій території. Основні споруди включають зелений дах, водопроникне покриття, сівалку, фільтруючу смугу, вал, дощовий сад і ставок.

РОЗДІЛ 5. РЕЗУЛЬТАТИ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ МІСТА-ГУБКИ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ БЛАКИТНО-ЗЕЛЕНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

5.1 Загальна інформація про проект

Німецьке місто Лейнефельде-Ворбіс розташоване в районі Айхсфельд на північному заході Тюрінгії, недалеко від кордону з Нижньою Саксонією (рис. 5.1). Маючи висоту 365 метрів над рівнем моря, площу 96,55 км² і загальну чисельність населення майже 20 тисяч, це найбільший муніципалітет в районі Айхсфельд і функціональний центр східної частини округу.

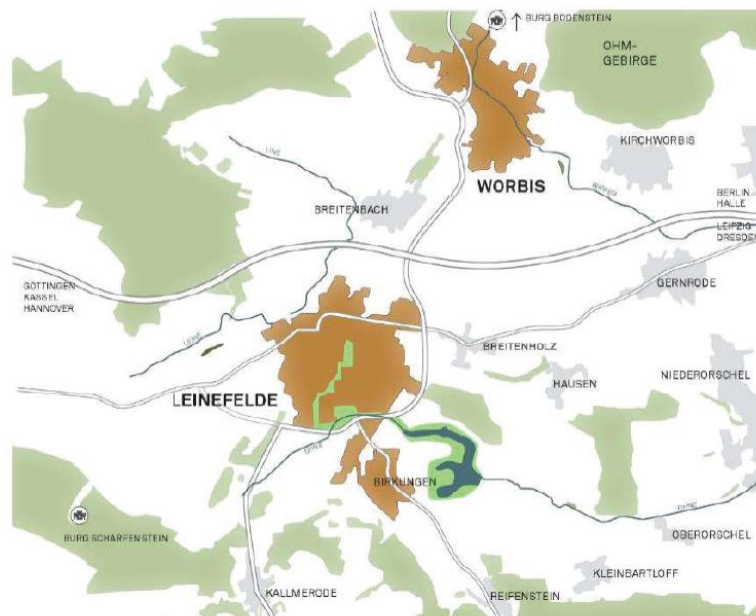


Рис. 5.1 Місцезнаходження об'єкта

У 2024 році в місті Лейнефельде-Ворбіс відбулася Landesgartenschau (Державна садова виставка), девізом якої було «Примирення між містом і ландшафтом» (німецькою мовою «Aussöhnung zwischen Stadt und Landschaft»). Метою був розвиток сталого, функціонального та креативного високоякісного сполучення між поселенням та ландшафтним простором

через інтеграцію містобудування, будівництва та концепції ландшафтного планування?

З Landesgartenschau 2024 місто Лайнефельде-Ворбіс зіткнулося з серйозним викликом після успішної міської реконструкції Лайнефельде. Територія, яка планується, буде з'єднана з існуючою «Зеленою віссю» (німецькою «Grünen Achse», позначеною «4» на рис. 5.2), яка проходить з півночі на південь через Лайнефельде. Південна околиця Лайнефельде, яка є ядром цілої нової території, має бути запланована як «місто-сад» (німецькою мовою «Gartenstadt», позначене «1» у Landesgartenschau 2024 і буде завершено пізніше).



Рис. 5.2 Основна територія Landesgartenschau з «Зеленою віссю» та «Зеленою петлею»

Далі на південь русло річки Оне буде трансформовано природним чином, співпрацюючи з природними рослинами, водно-болотними біотопами та фруктовими садами для створення пішохідної доріжки (позначеної «2» та «5» на рис. 5.2). Пішохідну стежину можна продовжити без довгих обходів до водосховища Біркунгер, де туристи можуть відчути «Зелений Петля» (німецькою «Grüne Schleife», позначена «3» на рис. 5.2) у формі кемпінгу з ресторанами, пристанню для човнів і зоною для купання на північному

березі. Для цього необхідно вжити необхідних заходів для контролю якості води водосховища Біркунгер, а також річки Оне.

Основною метою проєкту дослідження є розробка плану сталого розвитку для всієї території міста-саду (забезпечення простору для приватної власності, вулиць та інших необхідних компонентів, включаючи громадські зелені насадження та дитячий майданчик) з урахуванням низького впливу на якість води в річці Оне (Рис. 5.3).



Рис. 5.3 Вид з висоти пташиного польоту на територію проєкту

Це нове заплановане «Місто-сад» отримає свої особливі якості від ідеї сталого розвитку та взаємозв'язку між міською територією на півночі та природним ландшафтом на півдні. (Рис. 5.3)

5.2 Аналіз місця розташування

5.2.1 Інформація про місце розташування

Ділянка проєкту є перехідною зоною між житловим районом на півдні міста та ландшафтною зоною у приміському просторі. Її основними межами є вулиця Літштрасе на півночі, Бетховенштрассе на заході, річка Оне на півдні, Біркунгерштрассе та тротуарна доріжка навколо Автохаусу на сході. Розмір цієї території становить приблизно 6,30 га (Рис. 5.4).



Рис. 5.4 Поточна ситуація

5.2.2 Дані про висоту місцевості та будівельна ситуація

Ця територія майже рівнинна, з нахилом 1-2% з півночі на південь, з найвищою точкою на північному заході і найнижчою точкою на південному сході. (Рис. 5.5)

Комерційна будівля на вигині вулиці Бетховенштрассе повинна розглядатися як існуючий каркас. Це також стосується ресторану швидкого харчування та автосалону на Літштрасе. Автобудинок повинен розглядатися як існуючий каркас, включаючи прилеглу територію з

тротуарною плиткою. Ці будівлі не входять до зони планування в цьому проєкті.

Гаражний майданчик біля річки Оне з його 850 гаражами являє собою містобудівну хворобу і має бути знесений. Гаражний двір біля річки Оне з його 850 гаражами являє собою міську хворобу розвитку і знесений у 2020 році. Розпочато розчищення території та будівництво нового гаража поруч із квартирою. Таким чином, ця територія має всі перспективи для розвитку майбутнього «Міста-саду». Будівля, позначена як «Gaststätte Biereck» на Рис. 5.4, буде знесена в перспективі, а територія буде включена в зону, що планується. Парковка на заході також має бути включена до території, що планується. Запасні паркувальні місця для прилеглої на заході житлової забудови повинні мати відповідну форму.

5.2.3 Умови користування надрами

За результатами проведених робіт з обстеження фундаменту, структура шару ґрунту на цій ділянці проєктного майданчика в основному складається з п'яти шарів: верхній шар (Oberbau), засипний матеріал (Auffüllung), лесовидний суглинок (lößlehm), мулиста маса (abschlammungen) та змішана маса піску (Buntsandstein). (Рис. 5.6 та Рис. 5.7). Відповідно до результатів тесту на інфільтрацію ґрунту, проникність неконсолідованої породи (Lockergestein) змінюється від 3×10^{-6} м/с до 3×10^{-8} м/с (доведено), а проникність твердої породи (Festgestein) змінюється від 1×10^{-5} м/с до 1×10^{-7} м/с (за припущеннями). Субстрат переважно низькопроникний. Ґрунт випробовується на низьку середню проникність, яка не перевищує 1×10^{-6} м/с

5.2.4 Забруднення повітря

На територію проєктного майданчика може впливати шум дорожнього руху з південного сходу, оскільки Бундесштрассе проходить в якості об'їзної дороги. Очікувана зона транспортного та шумового забруднення показана на Рис. 5.8 та Рис. 5.9.



Рис. 5.5. Поточна карта висот

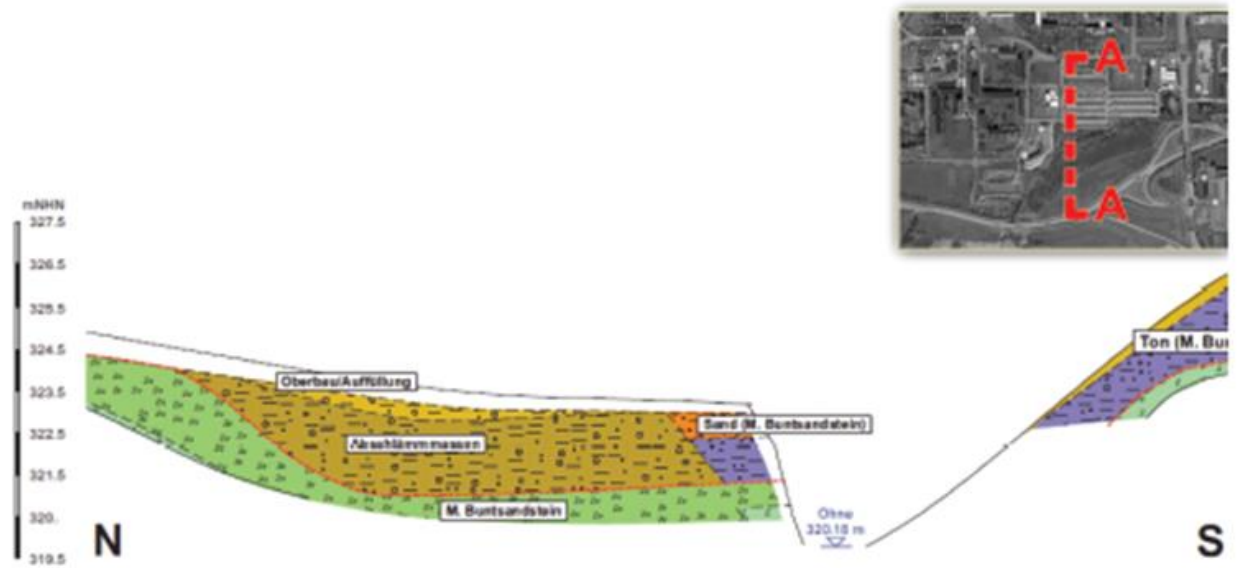


Рис. 5.6 Секція А-А розрізу підґрунтового шару

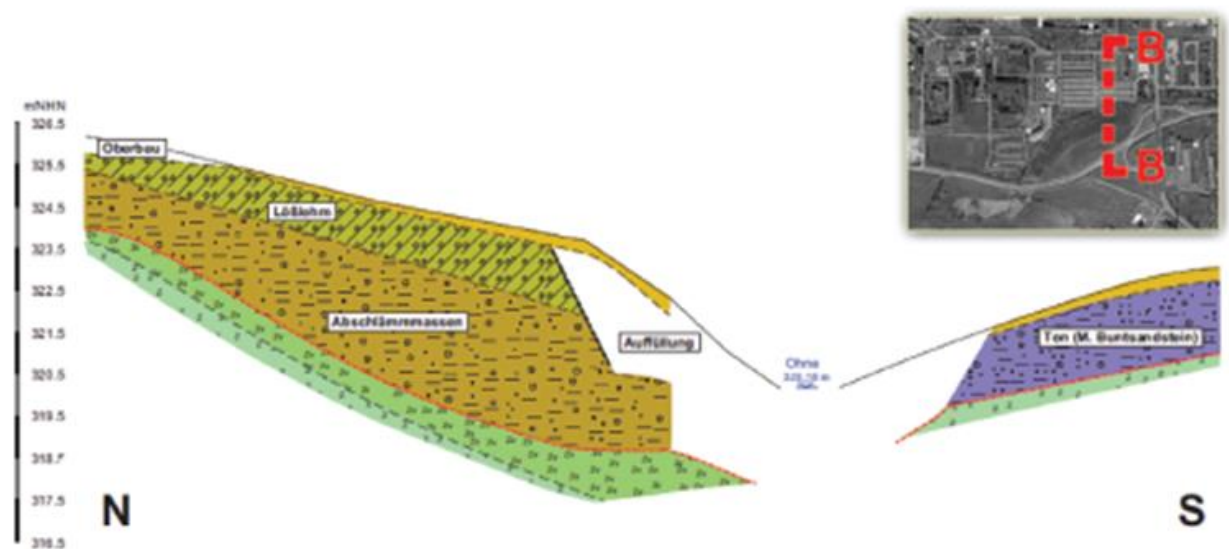


Рис. 5.7 Розріз В-В структури підґрунтового шару

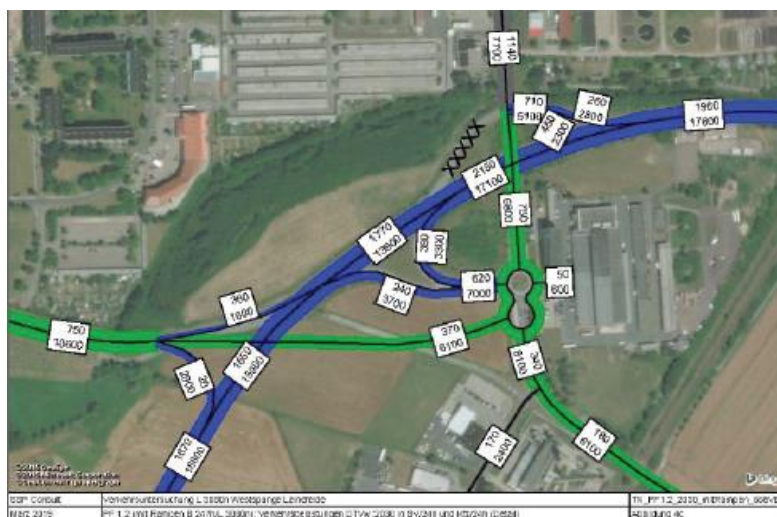


Рис. 5.8 Очікуване транспортне навантаження на прилеглу територію

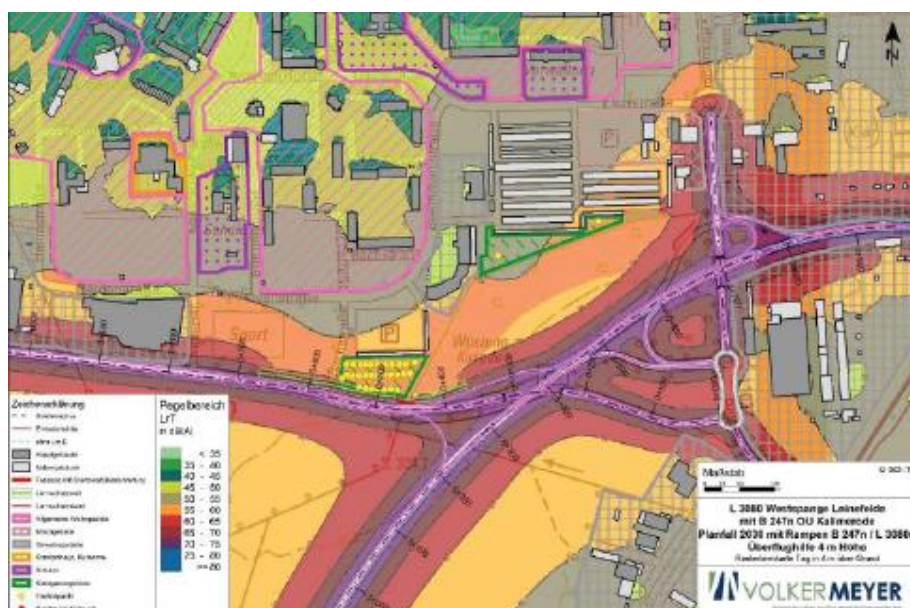


Рис. 5.9 Результати розрахунку шумозахисту (пролітна естакада висотою 4 метри)

5.2.5 Водне середовище

Південною межею міста-саду протікає річка Оне, яка є водним об'єктом довжиною близько 14 км. Вона бере початок у селі Каллмероде (неподалік від міста-саду) з південного заходу і впадає у водосховище Біркунген. (Рис. 5.10) Через місто-сад прокладено кілька труб дощової каналізації, які проходять по діагоналі під кутом 45 градусів у напрямку течії річки Оне, без попередньої очистки. Випускні споруди розташовані в нижній частині існуючого профілю річки. (Рис. 5.11) Маючи невелику площу водозбору,

річка Оне в даний час являє собою вузьку, ледь помітну канаву з невеликою кількістю води. Воду з прилеглих територій необхідно вводити в річку Оне, тим самим підтримуючи водний баланс через нинішній низький відтік.

У цьому випадку система управління дощовими водами на цій території повинна бути перепланована таким чином, щоб вода річки та штучної водойми могла бути кількісно та якісно покращена.



Рис 5.10 Площа водозбору річки Оне



Рис. 5.11 Поточний стан дощової каналізації на цій ділянці

5.3 Проблеми з водою на ділянці

Як згадувалося вище, річка Оне протікає південною межею міста-саду. Вона тече із заходу на схід і впадає у водосховище Біркунгер. Під час зливових дощів річка приймає стоки без попереднього очищення з північних урбанізованих територій, тим самим створюючи велику загрозу якості води в річці та водосховищі, і це є основною проблемою, яку необхідно вирішити на цій ділянці. У зв'язку з цим, основною метою цього проєкту є пошук ефективного рішення для запобігання потенційному забрудненню води, спричиненому зливовими стоками без необхідного очищення з території міста-саду.

5.3.1 Причини водних проблем

Забруднення води зазвичай пов'язане з підтопленням, і обидва ці явища можуть бути викликані трьома основними факторами: забудовою заплав, непроникними поверхнями та комбінованими переливами каналізаційних стоків.

Заплави - це відносно плоскі і низькі території, які прилягають до водойм і піддаються затопленню. Вони можуть розглядатися як продовження водної системи і слугують для транспортування та зберігання переповненої води під час паводків. Основні переваги, які можуть бути забезпечені заплавами, включають: зменшення інтенсивності повеней, видалення забруднювачів води, боротьбу з ерозією та стабільність русел, поповнення запасів ґрунтових вод, середовище існування диких тварин, базовий потік потоку тощо. Забудова або зміна заплави значно зменшить ці цінні переваги, згадані вище.

Непроникні поверхні зменшують площу рослинності, яка здатна інфільтрувати та фільтрувати стік і, таким чином, зменшувати об'єм води, видаляючи забруднюючі речовини, що переносяться нею. Вони вважаються основною причиною проблемного стоку в міських районах. Згідно з

дослідженням Федеральної міжвідомчої робочої групи з відновлення стоку: коли поверхня протифільтраційних споруд становить менше 10%, лише 10% зливових вод стають поверхневим стоком; коли поверхня протифільтраційних споруд становить 10%-20%, 20% зливових вод стають поверхневим стоком; коли поверхня є непроникною на 35-50%, 30% зливових вод стають поверхневим стоком; коли поверхня є непроникною на понад 75%, 55% зливових вод стають поверхневим стоком (Рис. 5.12).

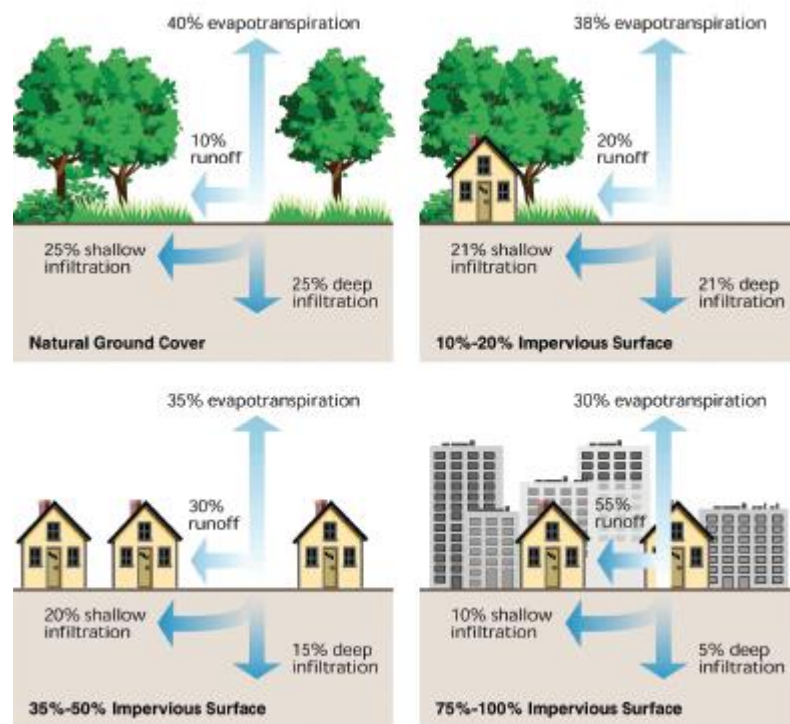


Рис. 5.12 Взаємозв'язок між протифільтраційним покриттям та поверхневим стоком [64]

Комбіновані каналізаційні переливи

Традиційний спосіб боротьби зі зливовими водами шляхом відведення їх в іншу водойму, таку як озеро або річка, стає все більш і більш складним, щоб впоратися зі зростаючим стоком дощових вод і забрудненням, яке вони приносять на поверхню землі, і не зможе скористатися шансом використати зливі води як цінний ресурс.

Більше того, старі системи водовідведення, відомі як комбіновані каналізаційні системи, приймають не лише надлишок дощової води від

природи, але й стічні води від людини (наприклад, промислові відходи та каналізаційні стоки), а забруднену воду відводять на очисні споруди. Під час інтенсивних дощів обсяг зливових стоків перевищує пропускну здатність комбінованих каналізаційних систем, і стічні води переливаються в найближчі приймаючі водойми. Це може призвести до забруднення природних водних об'єктів, оскільки стічні води потрапляють у струмки та річки (Рис. 5.13).

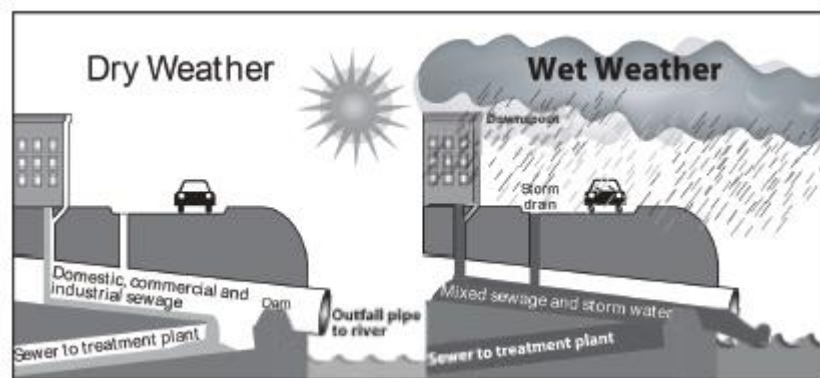


Рис. 5.13: Типова комбінована каналізаційна перепускна споруда

Крім того, надлишкові зливові води можуть нести велику кількість забруднюючих речовин, коли стікають із закритих поверхонь, таких як вихлопні гази автомобілів, екскременти тварин, бактерії, пил і бруд, осад, важкі метали тощо. Це може бути сильним забрудненням, коли стоки потрапляють у природні водойми, такі як ставки, струмки або річки. Деякі токсичні елементи можуть бути шкідливими для водних організмів, а деякі поживні речовини, такі як азот або фосфор, можуть призвести до росту водоростей, нестачі кисню та помутніння води у водоймах. Це значно погіршить якість природних водойм і створить велику загрозу для здоров'я людей та дикої природи.

5.3.2 Категорії забруднювачів води та джерела забруднення

Згідно з документом «Управління зливовими водами на урбанізованих територіях», забруднюючі речовини, що переносяться в міських зливових стоках, включають як органічні, так і неорганічні компоненти, а також

розчинні і нерозчинні матеріали. До загальних категорій забруднювачів зливових вод належать: зважені осади, важкі метали, поживні речовини (азот, фосфор), бактерії та віруси, токсичні органічні речовини (пестициди, ПХБ), кислоти, кисневонезалежні речовини, речовини на нафтовій основі або вуглеводні, а також гумінові речовини (прекурсори тригалометанів).

За матеріалами *Designing the Sustainable Site: Інтегровані стратегії дизайну для невеликих ділянок і житлових ландшафтів*», інша класифікація основних типів забруднювачів включає: відкладення від неправильного управління ландшафтами, відходи транспортних засобів (рідини, вихлопні гази, гальмівні накладки, шини і знос двигуна), відходи тварин, добрива, пестициди, інсектициди, дорожні солі, герметики на основі кам'яновугільного дьогтю з асфальтованих доріг, покрівельні матеріали та сміття.

Порівняно з цими двома категоріями, основні категорії забруднювачів зливових вод можна підсумувати наступним чином:

1. Осадкові відкладення;
2. Метали;
3. Хлориди;
4. Поживні речовини;
5. Бактерії та віруси;
6. Інші забруднювачі, такі як кислоти, токсичні органічні речовини, гумус, вуглеводні тощо.

Існує два типи джерел забруднення води: точкові та неточкові. Точкове джерело - це забруднення, яке потрапляє у водойми з конкретних, обмежених і помітних місць, таких як каналізація, канави і труби, в той час як неточкове джерело - це забруднення, яке розсіюється на широких географічних територіях і не може бути віднесене до конкретних точок, наприклад, забруднені стоки з автостоянок, доріг та інших непроникних покриттів. Через різноманітність початкових локацій, порівняно з точковим забрудненням, неточкове забруднення, як правило, важче відстежувати, моніторити і

контролювати. У цьому випадку необхідно докладати більше зусиль для очищення неточкових джерел забруднення води.

З усіх вищезгаданих забруднень зважені осади можуть бути присутніми в найбільшій кількості. Серед можливих причин, які можуть спричинити цю проблему, можна виділити наступні: денудований та пухкий ґрунт, інтенсивні опади, вологий ґрунт, який був насичений раніше, крутий схил, на який надходить вода, тощо. Згідно з деякими дослідженнями, найбільш поширеною формою найбільш важливих забруднюючих речовин у міському стоці є тверді частинки [57].

Одним з основних джерел забруднення завислими речовинами є ерозія ґрунту. У міських районах вітер і автомобілі також можуть бути переносниками частинок, які залишаються на поверхні непроникних або проникних матеріалів. Потім ці забруднювачі можуть бути змиті з поверхонь у приймаючі води зливовими водами.

Однак у міській місцевості, оскільки більша частина земель забудована непроникними поверхнями, змив осаджених частинок стає найбільш впливовим елементом, а не ерозія ґрунту.

Стирання автомобільних шин також може бути одним із джерел забруднення твердими частинками. Згідно з дослідженням, у США зношується понад 1 мільярд фунтів шин, і 94% цього забруднення залишається у вигляді великих частинок. На додаток до забруднення частинками, існують також такі забруднювачі, як цинк, нафта та деякі кисневозалежні органічні полімери. Викиди автомобілів також є важливим джерелом багатьох забруднюючих речовин у міських стоках. Частина забруднень походить від нафти, яка містить деякі хімічні елементи, такі як цинк і фосфор. Частина забруднень походить від зношених конструкцій, таких як мідь, хром і свинець, які залишаються на поверхнях. Частина забруднень походить від вихлопних газів, таких як закис азоту, вуглеводні та фосфор [58].

Під час дощу всі ці різноманітні форми вимиваються з атмосфери і стають частиною забруднення дощових стоків. Деякі забруднюючі речовини можуть переходити з дисперсної фази в розчинену або навпаки переходити в період, коли вони потрапляють у стік. Цей факт впливатиме на розробку потенційних стратегій контролю. Наприклад, відокремлення твердих частинок не зможе видалити забруднюючі речовини, що залишаються в розчинному стані, в той час як, навпаки, потік потоку не зможе перенести забруднюючі речовини, прикріплені до осаду, в приймаючу водну систему. Більшість матеріалів можуть переноситися між фазами твердих частинок і розчиненої фази, за винятком деяких матеріалів, таких як нітрати, які залишаються в розчиненій фазі здебільшого.

За даними *Designing the Sustainable Site: Інтегровані стратегії дизайну для невеликих ділянок і житлових ландшафтів*», основні джерела забруднення зливових вод можна підсумувати наступним чином [65]:

1. Осадкові відкладення з оголеного або порушеного ґрунту;
2. Метали з палива, пестицидів, транспортних засобів, асфальтового покриття та покрівельних матеріалів;
3. Хлориди, від солей для боротьби з ожеледицею;
4. Поживні речовини з несправних септичних систем, відходів тваринництва та добрив;
5. Бактерії та віруси з несправних септичних систем, відходів тваринництва та комбінованих переповнення каналізації;
6. Інші забруднювачі - гербіциди, транспортні засоби тощо.

Потенційні наслідки забруднення води включають виснаження кисневого балансу водного об'єкту, накопичення токсичних матеріалів у водному об'єкті, стимуляцію росту рослин і мікроорганізмів, таких як укорінені водні організми та водорості.

Відповідно до «Проектування сталого розвитку: Інтегровані стратегії проектування для малих ділянок і житлових ландшафтів», вплив основних забруднювачів зливових вод можна підсумувати наступним чином:

1. Осади, які знижують якість води, погіршують водне середовище існування та переносять
інші забруднювачі, такі як метали або поживні речовини;
2. Метали, які шкодять здоров'ю диких тварин і людей, навіть у низьких концентраціях;
3. Хлориди, які можуть забруднювати воду та ґрунт, шкодити рослинам і водній флорі та фауні;
4. Поживні речовини, які стимулюють цвітіння водоростей, знижують рівень розчиненого кисню та зменшують прозорість води;
5. Бактерії та віруси, які шкодять здоров'ю диких тварин і людей;
6. Інші забруднювачі, які шкодять здоров'ю дикої природи та людей тощо.

5.4 Стратегії вирішення проблем

Проблеми забруднення води можна вирішити, значною мірою, використовуючи як штучні об'єкти, такі як зелені дахи та водопроникні тротуари, так і природні компоненти, таких як рослинність і ґрунт, які замінюють непроникні поверхні землі, щоб перетворити ділянки на «губки» для поглинання, зберігання та очищення зливових стоків. Рослинність, ґрунт і мікроорганізми, що живуть у ґрунті, здатні зв'язувати і розщеплювати багато забруднювачів води. Природні механізми очищення можуть бути застосовані в стратегіях очищення зливових вод, таких як біофільтраційні споруди, які вловлюють стоки за допомогою рослинності і фільтрують воду в ґрунт. Кілька компонентів, таких як зелені дахи, біо-водорості, дощові сади і резервуари, вже використовуються в міських системах сталого управління зливовими водами протягом останніх двадцяти років, щоб зменшити негативний вплив урбанізації на навколишнє середовище. Це може не тільки покращити ситуацію з гідрологічним циклом, але й принести певні екологічні переваги, такі як збереження біорізноманіття, очищення забруднення та регулювання клімату [58-64].

Відповідно до вищезазначених пунктів, загальні стратегії можна підсумувати наступним чином:

1. Натуралізація прибережної зони;
2. Зменшення непроникних поверхонь;
3. Збільшення рослинного покриву;
4. Покращення здоров'я ґрунту;
5. Відокремлення дощової води від каналізаційних стоків;
6. Створення мережі для очищення зливових стоків.

5.4.1 Натуралізація прибережної зони та зменшення непроникних поверхонь

Південну частину міста-саду (яка прилягає до річки Оне) слід розвивати як природну ландшафтну зону, а не як територію з твердим покриттям, щоб запобігти потенційному забрудненню безпосередньо до річки. У той же час, на цій території можуть бути застосовані методи біоретенції, такі як фільтрувальні смуги і дощові сади, щоб діяти як буферна зона (очищувач стоку) між житловим районом (джерелом стоку) і річкою (приймачем стоку) для належного очищення забрудненого стоку [64].

Значна частина поверхні землі в містах є непроникною, що є основною причиною забруднення води. Зменшення об'єму та швидкості стоку може зменшити ймовірність забруднення підземних вод та інших водоприймачів. Автомобільні вихлопні гази, забруднювачі з повітря та інші забруднювачі накопичуються на непроникних поверхнях землі, і все це може бути знесено стоками.

Існує явище під назвою «ефект першого змиву», яке означає, що на протифільтраційній поверхні часто існує велика кількість забруднюючих речовин, які легко переносяться у початковий поверхневий стік під час дощу. Це явище слід враховувати при вимірюванні та управлінні забрудненням зливових вод.

Збір та інфільтрація першого змиву є ефективним способом очищення забруднюючих речовин у джерелі, що запобігає поширенню забруднюючих речовин. Ефективні стратегії для зменшення непроникних поверхонь на ділянці включають [63]:

1. Проектування природних поверхонь замість тротуарів.
2. Вибір проникних матеріалів для дорожнього покриття.
3. Використання конструкційних ґрунтів.
4. Застосування зеленого даху.

Одним із негативних наслідків урбанізації є надмірне заощення міських територій, що призводить до низки негативних впливів на довкілля та людину. Рекомендовані стратегії для цього включають: перебудова деяких застарілих ділянок, таких як сірі поля та міські забудови; зменшення розміру деяких зон, таких як місця для паркування, під'їзні шляхи або проїжджі частини; видалення тротуарів у центрах розвороту; інтеграція зелених насаджень у зони для паркування, під'їзні шляхи та проїжджі частини.

Рослини можуть відігравати посередницьку роль між дощем і землею. Листяні поверхні перехоплюють дощові опади, коли відбувається злива, а перехоплена вода згодом випаровується назад в атмосферу або опосередковано падає вниз на землю. Завдяки цьому загроза від сильних злив буде значною мірою зменшена завдяки рослинному покриву. Частина води може поглинатися рослинами через коріння, транспортуватися стеблами і виділятися назад у повітря листям у процесі транспірації. Крім того, коріння рослин може проникати в ґрунт і збільшувати здатність ґрунту просочуватися і поглинати воду, сприяючи тим самим процесам біоретенції.

Утримуючи дощову воду на своїй поверхні та сприяючи біоретенції, рослини здатні контролювати якість дощового стоку. Фактори, що визначають відсоток дощових опадів, перехоплених рослинами, включають характер опадів, види рослин, їх розміри та періоди листкоутворення. Найбільшу здатність утримувати дощову воду мають широколистяні вічнозелені дерева, далі йдуть широколистяні листяні та хвойні дерева [65].

За підрахунками, близько 3,4 мільйона кілограмів дощової води затримується вуличними деревами щороку, що дозволяє заощадити 35,6 мільйона доларів США завдяки зменшенню витрат на очищення забрудненої води та інфраструктуру. Рослинний покрив також здатний вловлювати забруднюючі речовини, що переносяться з осадом або іншими зваженими частинками у зливових стоках, шляхом відділення осаду від суспензії, і утримувати забруднюючі речовини, деякі з яких з часом розщеплюються рослинами або органічною речовиною ґрунту, пов'язаною з рослинами. Крім

того, рослинність відіграє важливу роль у блокуванні транспортування забруднювачів шляхом уповільнення вітру та інших природних факторів.

Чим більше різноманітних рослин розміщено, тим більшу користь може отримати наше довкілля. Низькоросла монокультурна рослинність, така як просто скошена трава, не буде такою ефективною, як змішані натуралістичні насадження, у вбиранні та затриманні надлишкового стоку або в очищенні води шляхом видалення забруднюючих речовин та домішок.

Більше того, порівняно з інтенсивно керованими трав'яними ділянками, багаторівневі насадження призведуть до збільшення цінності дикої природи та оселищ і підтримання більшого біорізноманіття.

У практиках біоретенції ґрунт як природний компонент відіграє ключову роль у вирішенні проблем забруднення води. Здоровий ґрунт має такі переваги для сталого розвитку об'єкту, як

1. Підтримка росту рослин;
2. Інфільтрація, затримання та утримання стоку;
3. Очищення та фільтрація забруднюючих речовин зі стоків;
4. Поглинання вуглецю з атмосфери;
5. Забезпечення середовища існування для різних тварин і рослин.

Як згадувалося в розділі 3, через місто-сад проходить кілька труб дощової каналізації, які потрапляють в річку Оне без попереднього очищення, а випускні споруди розташовані в нижній частині існуючого профілю річки. Це може спричинити потенційні проблеми, оскільки обсяг зливових стоків може перевищити пропускну здатність каналізаційної системи, і вода може перелитися в річку Оне разом із забруднюючими речовинами з каналізації та поверхні землі. Через це для вирішення цих проблем необхідно створити стійку міську систему водовідведення.

5.4.2 Створення системи очищення зливових вод

Для вирішення водних проблем на цільових ділянках часто застосовують кілька засобів очищення зливових вод, таких як зелений дах, водопроникне покриття, зливі сівалки, вал, фільтрувальна смуга, дощовий

сад і ставок. Однак у багатьох випадках застосування одного методу управління зливовими водами може бути недостатнім для боротьби зі стоками, одним з ефективних підходів до таких ситуацій є об'єднання ряду методів управління зливовими водами, таких як зелені дахи, вали, фільтруючі смуги і дощові сади, в інтегровану систему, тобто в комплексну систему очищення зливових стоків. Цей інтегрований підхід детально обговорювався у попередніх розділах.

Отже, місце проведення практичного проєкту дослідження розташоване в південній частині міста Лейнефельде-Вобіс, невеликого містечка на північному заході Тюрінгії, Німеччина. Місцевість майже рівна з 1%-2% нахилом з півночі на південь. Всі будівлі, що знаходяться на території, яку планується забудувати, мають бути знесені. Надра мають низьку проникність. Очікується транспортний шум від навколишніх доріг. Ділянка має бути спланована як місто-сад, південною межею якого є річка Оне, що впадає із заходу на схід у водосховище Біркунгер.

Основною метою цього проєкту є пошук підходу до усунення загрози забруднення води з території міста-саду до річки Оне. Проаналізувавши різні аспекти забруднення води (включаючи основні причини, категорії, джерела та наслідки), запропоновано чотири основні стратегії (включаючи натуралізацію прибережної зони, зменшення непроникних поверхонь, збільшення рослинного покриву, покращення стану ґрунту, відокремлення дощової води від каналізаційних стоків та створення зливової каналізації) для подальшої практики планування та проєктування.

5.5 Загальне планування та концепція міста-губки

5.5.1 Загальна концепція

Як було сказано вище, вся територія даного проєкту планується як місто-сад. На південь від міста-саду протікає річка Оне, яка тече із заходу на схід і нарешті вливається у водосховище Біркунгер. До інших меж міста-саду прилягає міський район Лайнефельде.

Під час зливових вод забруднена вода з міської території скидається в річку Оне через існуючу каналізаційну систему, створюючи велику загрозу якості води у водосховищі Біркунгер. Це основна проблема, яку необхідно вирішити в цьому проєкті.

Основна мета цього проєкту полягає в тому, щоб застосувати концепцію міста-губки шляхом створення мережі для очищення дощових стоків у цьому місті-саду, щоб вирішити проблеми з водою на місці, тим часом плануючи органічний житловий район із шістдесятьма приватними об'єктами. як необхідну міську інфраструктуру та створення сталого середовища проживання для мешканців міста-саду (Рис. 5.14).

Як показано на рисунку 5.15, все місто-сад (загальна запланована площа 63 000 м²) розбито на три частини: житлова зона (54 110 м²), південний зелений парк (7172,8 м²), та східний дощовий сад (1717,2 м²).

Житлова зона в основному планується як середовище проживання мешканців у місті-саду. Він складається з шістдесяти приватних об'єктів (площа кожного – 500 м²), двох прохідних вулиць (ширина кожної – 16,55 м), що з'єднують головні входи та зелений парк або дощовий сад, кількох місцевих вулиць (ширина кожної становить 9,7 м), щоб з'єднати приватну власність із прохідними вулицями або вулицями, що оточують місто-сад, і кількома громадськими відкритими зеленими насадженнями [64].

Південний зелений парк планується як громадський простір для місцевих жителів, де вони зможуть насолоджуватися відпочинком і діяльністю, водночас він відіграватиме ключову роль у плані управління

зливовими водами як система біоутримання для збору та очищення забруднених стоків із житлової зони перед скиданням води в річка Оне. В основному складається з луку (площа 3882,4 м²), біоретенції (планова площа 2190,4 м²) та дитячого майданчика (площа 500 м²).



Рис. 5.14 Генеальний план [64]

Східний дощовий сад розташований у східному куті. Його основна роль полягає в зборі потенційних стоків з Біркунгерштрассе та зони асфальту навколо Автохаусу. Він складається як із зони з твердим покриттям, включаючи паркінги та пішохідні доріжки на схід, так і із зони зелених насаджень, включаючи пасовища та порожнину біофільтра.

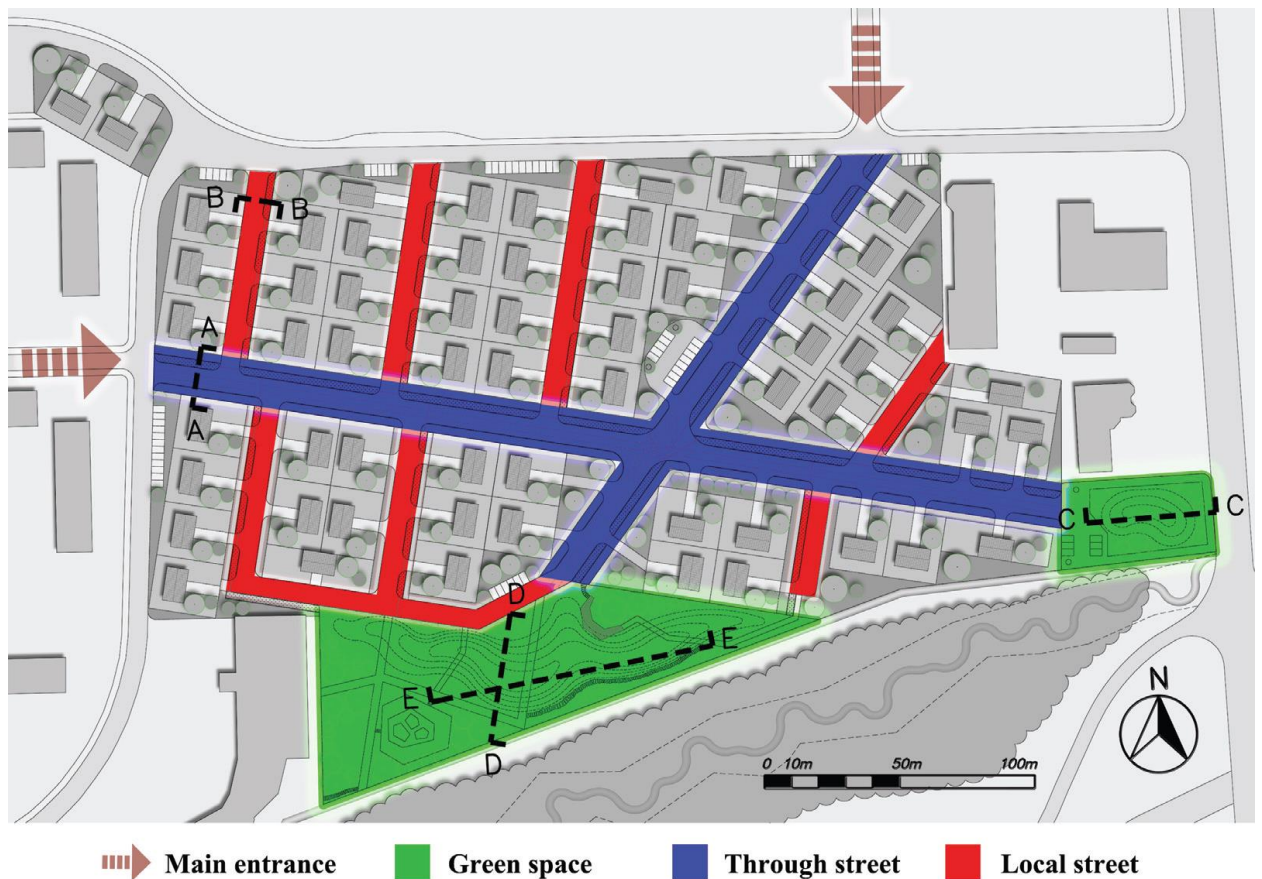


Рис. 5.15 Аналітичний план споруди

5.5.2 Аналіз об'єктів

З основних методів управління зливовими водами (включаючи зелений дах, водопроникну бруківку, плантатор, фільтрацію, смітник, дощовий сад і ставок), розглянутих у Розділі 2, п'ять із них обрано як очисні споруди для дощової води на цій ділянці на основі таких міркувань: зелені дахи вибираються для джерел контролю в приватних володіннях; для покращення інфільтрації в зоні вимощення вибираються водопроникні покриття; придатними спорудами для очищення зливових стоків на вулицях можуть бути вали або плантатори, з яких вали є більш придатними через їх транспортну здатність; стрічка фільтра підходить для попередньої обробки перед остаточним очищенням; а остаточне очищення стічних вод може здійснюватися за допомогою дощового саду або ставка, з якого дощовий сад є кращим вибором через водне середовище (уся надлишкова дощова вода

буде скидатися в річку Оне і зрештою спрямовуватися до водосховища Біркунгер, тому там не потрібно утримувати воду в садовому місті протягом тривалого часу) [64].

Згідно з наведеним вище аналізом, місця застосування та характеристики п'яти вибраних об'єктів для запобігання стоку, затримки, утримання, фільтрації та транспортування підсумовані в таблиці 5.1 (активні фактори позначені «+»).

Таблиця 5.1

Характеристика обраних об'єктів

Можливий об'єкт	Зелений дах	Водопроникний тротуар	Вал	Фільтруюча стрічка та дощовий сад
Місце застосування	Насаджена рослинна поверхня	Жорстке мощення поверхня	По вулицях та об'єктах нерухомості	Рослинна площа для збору дощової води
Запобігання	+	+		+
Затримання	+		+	
Вилучення	+	+	+	+
Фільтрація			+	+
Транспортування			+	

Територія майже рівнинна з ухилом 1-2% з півночі на південь. Під час зливових опадів надлишкова дощова вода з приватної власності спрямовується в найближчі вали на вулицях, через поверхневий стік або підземні труби (з'єднані з валами). Не допускається відведення дощової води через існуючі труби дощової каналізації (як зазначено в розділі 3) у річку Оне. Всі вали з'єднані один за одним підземними трубами для відведення води, а їх поздовжні схили нахилені до південного зеленого парку. Потенційно забруднені стоки з вулиці Біркунгерштрассе, а також з тротуару навколо Автосалону будуть збиратися за допомогою спеціальних

фільтрувальних матеріалів. Після всіх цих процесів фільтрації очищена вода буде скидатися в підземні труби і спрямовуватися в річку Оне східного дощового саду, таким чином не становлячи загрози для інших районів міста-саду. (Рис. 5.16)

Система біоретенції у південному зеленому парку спроектована таким чином, щоб приймати весь потенційний стік відповідно до прогнозованої кількості опадів з усього міста-саду. Зібрана дощова вода буде фільтруватися вибраними рослинами (фіторемедіація), ґрунтом та його органічною речовиною (біоремедіація), а також через низьку проникність корінних ґрунтів, всі практики біоретенції на ділянці спроектовані як «системи часткової інфільтрації» (за винятком східного дощового саду, який спроектований як «система біофільтрації» для запобігання потенційному забрудненню ґрунтових вод).



Рис. 5.16 Дренажний план

5.5.3 Деталі проєкту

Дві наскрізні вулиці з'єднують два головні входи на півночі і заході з двома зеленими зонами на півдні і сході, одночасно відіграючи ключову роль у спрямуванні дощової води з прилеглих приватних володінь і з'єднаних

місцевими вулицями через вали у систему біологічного утримання (5.17 – 5.22).



Рис. 5.17 Перспектива з південного сходу [64]



Рис. 5.18 Перспектива з південно-західного напрямку [64]



Рис. 5.19 Перспектива з північно-східного напрямку



Рис. 5.20 Перспектива з північно-західного напрямку [64]



Рис. 5.21 Перспектива зі східного головного входу [64]



Рис. 5.22 Перспектива із західного головного входу [64]

Загальна ширина кожної наскрізної вулиці становить 16,55 метрів. У поперечному перерізі її можна розділити на чотири частини, включаючи дві пішохідні зони (кожна шириною 3 метри) з обох боків, автомобільну дорогу (шириною 7,4 метра) посередині і смугу (шириною 2,7 метра) між автомобільною дорогою і однією з пішохідних зон. Між пішохідною зоною, валом і автомагістраллю є три смуги бруківки (кожна шириною 0,15 метра), рис. 5.23.



Рис. 5.23 Секція А-А для наскрізної дороги [64]

Вали спроектовані як «покращені рослинні вали», які є важливими каналами, поверхня яких вкрита рослинністю, що забезпечує очищення та транспортування води під час дощів. Ширина валу на вулиці повинна бути не менше 2,4 метрів (розділ 2). Дно повинно бути рівним і мати ширину не менше 0,6 метра. Бічний ухил не повинен перевищувати 1:3. Поздовжній ухил не повинен перевищувати 6%. Для валів на наскрізних вулицях ширина дна становить 0,9 метра, горизонтальна ширина бічних укосів також становить 0,9 метра, а глибина бічних укосів - 0,3 метра. У цьому випадку загальна ширина смуги становить 2,7 метра, а коефіцієнт бічних укосів - 1:3.

Матеріали для мощення пішохідних зон та автомагістралі слід вибирати з водопроникних дорожніх матеріалів. Для автомагістралі

рекомендується пористий асфальт, в той час як для пішохідних зон підходить як попередній бетон, так і екобруківка (рис. 5.24, 5.25).



Рис. 5.24 Секція В-В для місцевої дороги [64]



Рис. 5.25 Перспектива валу з підземним трубопроводом [64]

Для валів (також спроектованих як «посилені рослинні вали») на місцевих вулицях ширина дна становить 0,6 метра, горизонтальна ширина бічних укосів також становить 0,9 метра, а глибина бічних укосів - 0,3 метра. У цьому випадку загальна ширина валу становить 2,4 метри, а коефіцієнт бічного укосу - 1:3. Кожні дві сусідні смуги з'єднані з обох кінців трубою для підземних вод для циркуляції води в дренажній системі (Рис. 5.25).

Матеріали для мощення ділянок також повинні бути зроблені з водопроникних матеріалів для мощення. Рекомендується використати бетон, щебінку або асфальтобетон.

5.5.4 Східний дощовий сад

Східний дощовий сад розташований у південно-східному куті міста-саду, його основна роль полягає у зборі потенційного стоку з вулиці Біркунгерштрассе та тротуару навколо Autohaus, щоб запобігти потраплянню забрудненого стоку в інші райони міста-саду, і водночас відгородити його від шумового забруднення з Біркунгерштрассе (рис. 5.26 – 5.27).



Рис. 5.26 Перспектива східного дощового саду [64]

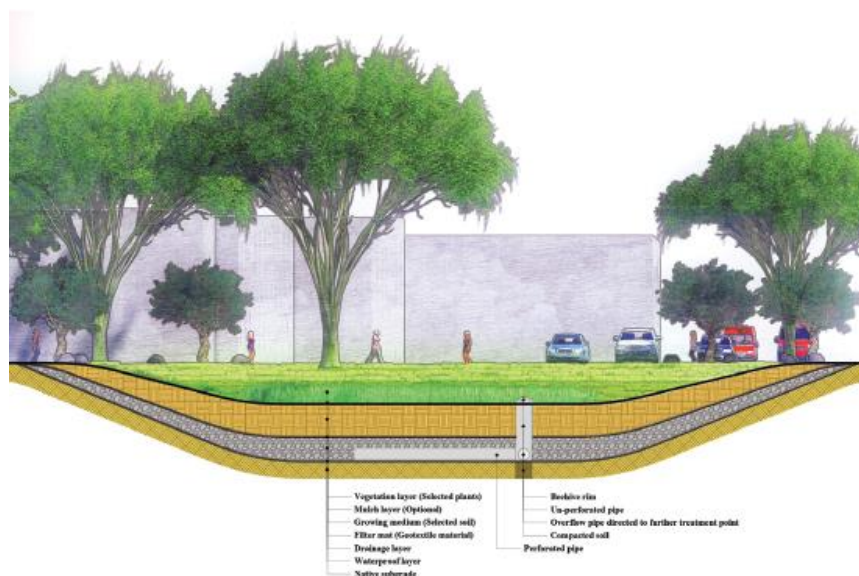


Рис. 5.27 Секція С-С для східного дощового саду [64]

Загальна площа східного дощового саду становить 1717,2 м². Вона складається з площі зелених насаджень (960 м²), що включає луг і улоговину біофільтра, та площі з твердим покриттям (757,2 м²), що включає автостоянки і пішохідні доріжки, з'єднані зі сходу.

Посередині зони зелених насаджень знаходиться улоговина з рослинністю, оточена рівнинним лугом. Засаджена улоговина є важливим елементом системи біофільтрів, загальна площа якої становить 548,5 м², а глибина дна - 1 метр. Структура системи біофільтрів складається з шести шарів, які зверху вниз є рослинним шаром, шаром мульчі (необов'язково), живильним середовищем, фільтрувальним матом, дренажним шаром і водонепроникним шаром. Під водонепроникним шаром лежить природний ґрунт (Рис. 5.27).

Коли стічні води потрапляють в систему біофільтрів, вони просочуються в живильне середовище і фільтруються фільтрувальним матеріалом, перш ніж потрапити в дренажний шар.

Водонепроникний шар відокремлює дренажний шар від природного шару ґрунту, щоб запобігти потраплянню забрудненої води в систему ґрунтових вод. Таким чином, система спроектована як «біоретенційна система без інфільтрації» (також відома як «система біофільтрів»). Дренажна труба спроектована в системі біофільтрів для збору і направлення переповненої води з дренажного шару до місця подальшої обробки.

5.5.5 Південний зелений парк

Південний зелений парк розташований у найнижчій точці міста-саду, що прилягає до річки Оне. Він планується як громадський простір для місцевих жителів, де вони зможуть насолоджуватися відпочинком та водночас він відіграє ключову роль у запланованій системі управління дощовими водами як біоретенційна система для збору та очищення стоків з житлового району перед відведенням їх у річку Оне. Зелений парк в основному складається з трьох частин: лугу, дитячого майданчика та зони біологічного утримання.

Луг - це рівна трав'яниста ділянка, що оточує зону біологічного утримання. Його загальна площа становить 3882.4 м². Її поверхню прикрашають різні види підібраних рослин (з урахуванням їхнього способу зростання, росту та розміру, сезонного вигляду тощо), а також різноманітними видами рослин, а також деякими твердими елементами озеленення (такими як пішохідні доріжки, каміння для сидіння та дерев'яні настили). Ігровий майданчик розташований на південному заході зеленого парку. Загальна площа майданчика становить 500 м². Це місце, де мешканці можуть насолоджуватися різноманітними розважальними заходами, особливо для дітей. На майданчику розміщено кілька рекреаційних елементів, таких як гірка, гойдалка, турніки для підтягування тощо (Рис. 5.28).

Через всю зелену паркову зону прокладено кілька доріжок, що з'єднують різні частини для пересування пішоходів. Доріжки з'єднані з пішохідними містками, що перекинуті через заглиблення дощового саду (Рис. 5.29). На галявині в північній частині зеленого парку розміщено дерев'яний настил. Мешканці можуть лежати на ній і насолоджуватися прекрасним краєвидом, що відкривається перед ними (Рис. 5.30).

Біорезервуар знаходиться в самому центрі зеленого парку. Загальна площа становить 2190,4 м², а глибина улоговини - 2 метри. Відповідно до типів наземних рослин, систему біологічного утримання можна розділити на дві частини від горизонтальної лінії на 1 метр нижче рівня луку: верхню частину можна розглядати як «фільтруючу смугу», тобто трав'янистий схил з деякими каменями на поверхні, а нижню частину можна розглядати як «дощовий сад», тобто поглиблення, поверхня якого засаджена вибраними рослинами (Рис. 5.30, 5.31). Зі зміною рівня в улоговині, зона двостороннього затримання буде мати різні особливості в різних ситуаціях з опадами.

Структура дощового саду складається з семи шарів (зверху вниз):

1. Рослинний шар складається з відібраних рослин;
2. Шар мульчі (необов'язковий), для захисту ґрунту;

3. Живильне середовище, заповнене вибраним ґрунтом з відповідною водопроникністю;
4. Верхній шар сепаратора, заповнений грубозернистим піском для фільтрації;
5. Нижній шар сепаратора, заповнений подрібненим гравієм для подальшої фільтрації;
6. Фільтруючий мат, виготовлений з геотекстильного матеріалу для остаточної фільтрації.
7. Дренажний шар, заповнений рівномірно гранульованими породами-накопичувачами, між якими прокладено кілька переливних труб, спрямованих до річки Оне.

Оскільки приточна вода систематично очищується через попередню серію очищення, а також через низьку водопроникність корінного ґрунту, ґрунт тестується на низьку середню водопроникність, яка не перевищує 1×10^{-6} м/с), система біоретенції в зеленому парку спроектована як «система часткової інфільтрації». У цьому випадку під дренажним шаром знаходиться безпосередньо рідний ґрунт земляного полотна, який забезпечує певну швидкість інфільтрації води.

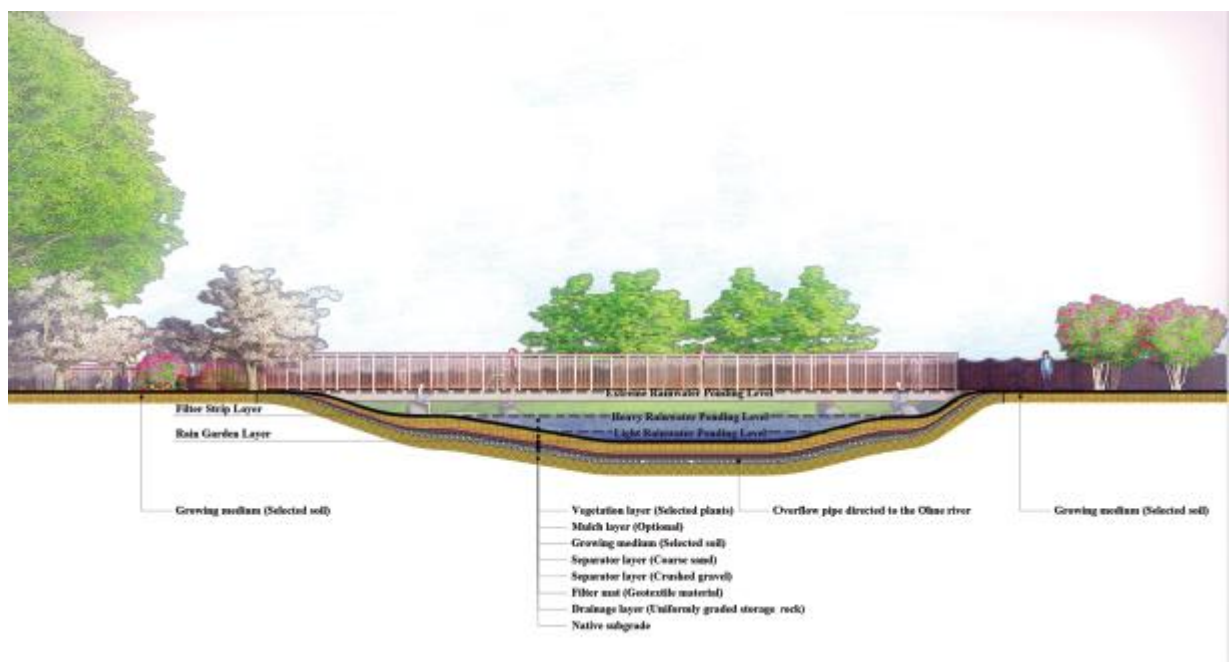


Рис. 5.28 Секція D-D південного зеленого паку [64]



Рис. 5.29 Секція Е-Е південного зеленого паку [64]



Рис. 5.30 Перспектива південного зеленого паку [64]

У громадському просторі житлового району заплановано 60 місць для паркування (кількість яких може бути змінена відповідно до реальних потреб). Довжина кожного місця становить 4,5 метра, а ширина - 2,5 метра. Всі автостоянки повинні мати водопроникне покриття, для якого рекомендується використовувати бетонні решітки (в деяких випадках можна також використовувати попередньо укладену бетонну, водопроникну бруківку, що з'єднується між собою) (Рис. 5.31).

Відкриті зелені насадження - це численні ділянки землі, засаджені рослинами, що прилягають до приватної власності та вулиць. Вони розкидані

по всьому громадському простору міста-саду. Всі зелені насадження вкриті травою або засаджені деревами та кущами, що збільшує рослинний покрив на всій території міста-саду та покращує інфільтраційну здатність міста-саду. Відкриті зелені насадження також відіграють важливу роль у створенні системи міста-губки (Рис. 5.32- Рис. 5.35).



Рис. 5.31 Парковка та відкритий зелений простір [64]



Рис. 5.32 Дерев'яний настил на лузі [64]



Рис. 5.33 Міст та шлях [64]

5.5.6 Пропозиції для проєктування приватної власності

У місті-саду розташовано 60 приватних володінь, площа кожного становить 500 м². Таким чином, приватні володіння складають майже половину від загальної площі міста-саду. Управління зливовими водами, що застосовується в приватних будинках, має великий вплив на загальний результат очищення зливових вод.

Всі об'єкти дощової каналізації рекомендовані для проєктування будівель і дворів у приватних володіннях. Серед цих елементів очищення зливових вод, зелений дах є одним з найбільш підходящих і ефективних методів через обмеженість простору в приватних будинках. Крім того, для приватних подвір'їв рекомендується влаштування водопроникного покриття, фільтруючого екрану, дощового саду і ставка, які можуть функціонувати як проміжні середовища, що очищають і спрямовують дощову воду з будинків і подвір'їв на вулиці через поверхневий стік або підземні труби (Рис. 5.35).



Рис. 5.34 Ігровий простір [64]



Рис. 5.35 Площа для біоретенції [64]

Завдяки аналізу теорій концепції міста-губки у відповідній літературі, а також розробці ефективного підходу до проблем забруднення приймаючих вод поблизу житлових районів шляхом пропозиції нового ландшафтного плану для району «міста-саду» Лейнефельде-Ворбіс, науковий принцип управління зливовими водами можна сформулювати як «застосування низки відповідних практик біоретенції для створення циклу очищення зливових вод на цільових територіях».

Ідея біоретенції - це, по суті, практика очищення води, заснована на співпраці рослин, ґрунтів і мікробів на ділянці. Для підвищення стійкості та ефективності обраних споруд біоретенції, здоров'я ґрунту і вибір рослин повинні бути враховані при розробці стратегії ділянки, а також при подальшому плануванні та проектуванні. Ущільнення ґрунту та органічна речовина є основними факторами, що впливають на здоров'я ґрунту та його здатність до очищення води. Рослини, які підходять для загальних практик біоретенції, повинні бути стійкими до повеней і посухи, що пов'язано з умовами навколишнього середовища в типових спорудах біоретенції.

Всі компоненти, що формують систему очищення зливових стоків, повинні бути обрані з урахуванням їх характеристик (відповідне місце розташування, потужність очищення води тощо) та умов місцевого середовища (проникність ґрунту, навколишні приймаючі води і т.д.). Вибір типу біорешітки (з повною інфільтрацією, частковою інфільтрацією та без інфільтрації) також залежить від практичних потреб та умов навколишнього середовища.

Продуктивність системи дощових очисних споруд повинна бути спрогнозована заздалегідь за допомогою наукового аналізу або розрахунків, щоб забезпечити ефективність контролю кількості та якості дощової води.

Деякі технології, включаючи подальшу обробку таких забруднювачів, як хлорид, натрій та інші, які не можуть бути повністю видалені за допомогою методів біоретенції. Це – завдання для подальших досліджень.

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНОГО ТИПУ ЗЕЛЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗЛИВОВИХ ВОД В УМОВАХ УКРАЇНИ

Економічні оцінки зелених покрівельних систем у порівнянні з традиційними демонструють суттєві відмінності у результатах. З фінансової точки зору деякі дослідники зазначають, що інвестиції в зелені покрівлі можуть спричиняти фінансові втрати в межах 19-50% з урахуванням їхніх переваг [38]. Водночас інші дослідження вказують на потенційний фінансовий приріст до 25% [39].

Зелені покриття можуть бути інвестиціями, як із соціально-екологічного, так і економічного поглядів, які можуть давати прибуток у розмірі 24-40% [35]. Результати різняться в залежності від умов навколишнього середовища. Умови довкілля сильно впливають безпосередньо на характеристики зеленого покриття (наприклад, метеорологічні, географічні та інші умови). Це робить складним кількісну оцінку переваг зеленого покриття.

Однак, є переваги, які не відносяться до економічних: соціальне благополуччя, збереження біорізноманіття. Вони описуються у багатьох джерелах літератури [23-35]. Такі переваги важко переводяться у грошовий еквівалент, їх важко вираховувати. Тому вони практично не зустрічаються у еколого-економічному аналізі. Отже, така оцінка – це досить складний процес, який обмежується різноманітністю даних, неточністю їхнього групування та систематизації.

Та вода, яка зберігається та утримується у вигляді ґрунтової вологи або на самих покриттях, називається «зеленим водним слідом». Це відповідає концепції водного сліду. Взагалі, здатність зелених покриттів до утримання вологи не є константою, вона змінюється від дуже низьких значень до 100%. На це впливають такі чинники, як тип підкладки, товщина та нахил покрівлі,

видове різноманіття рослинності, кількість накопиченої води у структурі покриття до наступних опадів.

Якщо порівняти зелені покриття і традиційні дахи, то сучасні зелені покриття мають значно більший екологічний ефект, що сприяє утриманню та збереженню у міських агломераціях.

України не відрізняється широкою практикою впровадження збору дощової води. Особливо, у порівнянні з багатьма іншими європейськими країнами. Отже, як наслідок, показник зеленого водного сліду дуже низький у нашій країні. Не беремо до уваги, вимушену практику збору дощової води у регіонах, у яких серйозно постраждала інфраструктура внаслідок військових дій, таких як Миколаївщина, Херсонщина, Харківщина, Луганщина, Донеччина, Сумщина.

Показник водності в Україні, за середнім, становлять 94 км^3 , але не більше 56 км^3 є придатними для використання [52]. Міські агломерації здійснюють сильний вплив на довкілля, отже, призводять до забруднення повітря, формування так званого міського теплового острова, а також забруднення і деградації поверхневих і підземних вод, зменшення біорізноманіття.

При впровадженні зелених дахів у зонах міст, відбудеться пом'якшення клімату міських районів, зниження кількості різних екстремальних метеорологічних явищ, які викликані зміною клімату [53].

При аналізі погодних умов деяких міст України, проведене економічне дослідження зелених покриттів для оцінка їхньої ефективності та потенціалу для сталого розвитку міських агломерацій.

Клімат в Україні помірний, континентальний, загальна чисельність населення складає на 2021 рік 44,7 млн. жителів, а площа - 603628 км^2 . Середньорічна кількість опадів становить на території України зменшується від 650 – 550 мм на півночі до 450 – 350 мм на Чорноморсько-Азовському узбережжі і від 750 – 700 мм на заході до 500 – 450 мм на сході [59].

Порівняльна характеристика міст України наведена у таблиці 6.1. Ціна води для населення України у 2024 році для кожного міста опублікована на веб-сторінці Міністерства фінансів України [60]. Використовувався обмінний курс 1USD = 37,9UAH.

Еколого-економічного ефект від збирання дощової води з використанням зелених покриттів проводився за методикою, яка запропонована у роботі [61].

Виходячи з різниці між водою, зібраною на зелених покриттях, і водою, що стікає з традиційного даху, екологічний ефект (EE) розраховувався як об'єм утриманої води (m^3). EE , виражений в грошовій одиниці, розраховувався як економічний ефект (ECE) [61]. Висхідні дані, які використовували для розрахунків, представлені у таблиці 6.1. Як показник загального рівня утримання води за допомогою зелених покриттів було обрано середнє значення - 60% [61].

Таблиця 6.1

Характеристика міст України, які взяті для економічної оцінки використання зелених покриттів

Місто України	Населення, млн	Загальна площа, km^2	Середньорічна кількість опадів, мм	Ціна на воду, USD/ m^3
Київ	2,966	835,58	649	0,83
Харків	1,446	370,0	515	0,68
Дніпро	0,968	409,72	450	0,87
Львів	0,729	148,95	740	0,73

Для забудованих територій коефіцієнт стоку дорівнює 0,95. Еколого-економічний ефект розраховується за рівняннями:

$$EE = (A \cdot P \cdot R) - (A \cdot P \cdot \Psi), \quad (6.1)$$

$$ECE = EE \cdot C, (6.2)$$

де EE – екологічний ефект, що залежить від об'єму води, який утримується зеленим покриттям, $\text{м}^3/\text{рік}$; ECE – економічний (екологічний) ефект, що дорівнює грошовій вигоді від утриманої води на зеленому покритті, $\text{USD}/\text{рік}$; A – площа поверхні зеленого покриття, м^2 ; P – середньорічна кількість опадів, м ; R – середній ступінь утримання води зеленим покриттям, що прийнято для розрахунків 60% [64]; Ψ – коефіцієнт стоку для забудованих територій, прийнятий для розрахунків 0,95; C – середня вартість води, $\text{USD}/\text{м}^3$.

Насьогодні на території України облаштовано вже близько 100 тис. м^2 зелених покриттів. За літературними даними [53-58], площа придатних для озеленення дахів становить тільки у Києві близько 2,5 млн. м^2 , а за всією країною зелені покриття можуть займати площу біля 30 млн. м^2 [57].

Припустимо, площа зелених покриттів буде становити до 1% за розрахунками, від загальної площі міст України, представлених у таблиці 6.1, так як дані про території, що займають подібні типи зелених конструкцій у представлених містах, чи Україні в цілому, відсутні [53, 62].

Уявні значення площі таких покриттів у обраних містах у розрахунках були прийняті наступні: Київ – 2,5 млн. м^2 ; Харків – 1,76 млн. м^2 ; Дніпро – 1,64 млн. м^2 ; Львів – 1,47 млн. м^2 [62].

Еколого-економічний вплив з урахуванням збереження води проводився з розрахунку, що це - різниця між кількістю дощової води, що стікає з традиційної покрівлі (одиниці вимірювання – куб м), і кількістю дощової води, що затримується на зеленому покритті (одиниці вимірювання – куб м). Обсяг дощової води, який утримується на зеленому покритті, обчислюється шляхом перемноження її площі в місті, середньорічної кількості опадів та коефіцієнта затримки води конструкцією (60%) [62]. Обсяг стікання дощової води розраховується шляхом множення площі зеленого покриття в місті, кількості опадів та коефіцієнта стоку (0,95) [62].

Результатами розрахунків представлені у таблиці 6.2. Отже, *ЕЕ* - екологічний ефект - коливається у межах 394 000 м³ у місті Дніпро та 450 000 м³ у Харкові до 567 000 м³ у Києві та 647 000 м³ у Львові. Відмінність в отриманих розрахунках залежить в основному від обраної площі зелених покриттів, яка була найнижчою в місті Дніпро (1,47 млн м²) і найвищою в місті Києві (2,50 млн м²), а також від показника середньорічної кількості опадів, який є найвищим у місті Львові (740 мм). Отже, середнє значення екологічного ефекту *ЕЕ* по відношенню до затримки води в проаналізованих містах становила 515 000 м³ [62].

Таблиця 6.2

Результати розрахунків екологічного *ЕЕ* та економічного ефекту *ЕСЕ*

Місто України	Екологічний ефект <i>ЕЕ</i> , тис. м ³	Економічний ефект <i>ЕСЕ</i> , тис. USD
Київ	567	459,27
Харків	450	279,00
Дніпро	394	330,96
Львів	647	452,90

Зміна площі зелених покриттів може служити ключовим інструментом для проведення аналізу та оцінки економічних і екологічних наслідків, оскільки різноманітність площ цих конструкцій може впливати на рівень збереження води, покращення міського клімату, зниження стоку дощової води та вартості обслуговування, що в свою чергу може мати значущий вплив на здатність міст до сталого розвитку та забезпечення екологічної стійкості.

Подібно до екологічного ефекту *ЕЕ*, значення економічного ефекту *ЕСЕ* утримання води, розраховане на 1000 доларів США, було найвищим у Києві та Львові (таблиця 6.2). Так само найнижчий показник був у місті Дніпро та Харків. Середній показник *ЕСЕ* для цих 4 міст склав 380 500

доларів США. *ECE* водоутримання розраховується шляхом множення *EE* і ціни води. Тому ціна на воду є вирішальною залежною змінною при розрахунку *ECE*. Середня ціна води у 2023 році серед проаналізованої кількості міст становить 0,75 USD/м³. Мешканці Харкова та Львова мають найнижчі ціни на воду (0,65 та 0,7 USD/м³), найвища ціна була в місті Києві та Дніпро (0,81 та 0,84 USD/м³) [63].

Розрахунок економічного аналізу прибутковості інвестицій у зелені покриття, що відповідають 1 м² інтенсивних і екстенсивних типів, здійснювались на основі методики чистої приведеної вартості (NPV) [372] і обчислювались за допомогою стандартної формули (6.3):

$$NPV = -I + \frac{CF_1}{1+r} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (6.3)$$

де *I* – початкові інвестиції, USD; *CF* – грошовий потік, USD, який визначається як різниця між прибутками та витратами від зелених покриттів; *r* – ставка дисконтування, %; *t* – час, роки.

Дані для розрахунку економічного аналізу на основі методики чистої приведеної вартості представлені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3

Дані для розрахунку економічного аналізу на основі методики чистої приведеної вартості

Позиція	Значення
1	2
Ставка дисконтування, <i>r</i>	5
Строк служби зеленого покриття, роки	40
<i>Середня кількісна оцінка витрат на зелені покриття в Україні, USD/м²</i>	
Інвестиційні витрати на інтенсивне зелене покриття	71,65
Інтенсивна висадка рослинного шару	16,5
Середня вартість обслуговування зеленого покриття	4,95
Інвестиційні витрати на екстенсивне зелене покриття	42,2

Продовження табл. 6.3

1	2
Екстенсивна висадка рослинного шару	5,36
Середня вартість обслуговування екстенсивного зеленого покриття	1,65
<i>Переваги від зелених покриттів, USD/м²</i>	
Поглинання оксиду азоту	0,11
Зменшення викидів вуглецю	0,00017
Пом'якшення ефекту теплового острова	0,81
Надання рекреаційних площ (середнє значення)	11,00
Зниження ризику повеней	0,0024
Перевага від створення середовища проживання	0,675
Теплова ізоляція (нагрівання та охолодження)	0.68
Утримання води	0,31-0,64 (розраховано)

Інвестиційні витрати на зелені покриття включають наступні стадії:

- проектування зелених покриттів (візуалізація, фор ескізів, робоча документація);
- монтаж системи зеленого покриття (основа, шар утеплення, парозоляція, гідроізоляція, укладання системи озеленення);
- гідроізоляція – влаштування шару гідроізоляції під зелене покриття з урахуванням усіх необхідних параметрів;
- виробництво субстрату для покриттів та його укладання;
- підбір та посадка рослин для системи зеленого покриття;
- система поливання – проектування та монтаж систем поливання для рослин на зеленій констукції.

Вартість інвестицій в інтенсивне та екстенсивне зелене покриття може

відрізнятися залежно від розміру даху, обраної технології, виду рослинності та рівня автоматизації.

Вартість утримання дощової води розраховувалася як добуток ціни на воду і середньорічної кількості опадів у містах, що оцінюються, та середнього ступеню затримки води зеленими покриттями, обраному як 60%. Було обрано припущення, що інтенсивні зелені покриття вимагають щорічного догляду, а посадки рослинного покриву (0,5 зеленого покриття у кожній області) що два роки. У випадку великих зелених покриттів враховувались витрати на обслуговування що два роки, тоді як витрати на посадку рослинності були понесені лише в перший рік.

Внутрішня норма прибутковості (IRR) – це відсоткова ставка, при якій чиста приведена вартість всіх грошових потоків (як позитивних, так і негативних) від проєкту або інвестиції стає рівним нулю. IRR використовується для оцінки привабливості проєкту або інвестиції. IRR може бути математично розрахована за рівнянням:

$$CF_0 + \frac{CF_1}{1+r} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (6.4)$$

де CF – грошовий потік в останньому періоді часу (t), USD; r - IRR, що підлягає розрахунку, %.

Дисконтований строк окупності (DPP) входить в динамічні методи оцінки прибутковості інвестиційних проєктів. Цей показник визначає період часу, за який грошовий потік з інвестицій повністю компенсує всі витрати, зроблені під час проєкту, і після чого він починає приносити чистий прибуток. Значення DPP визначається рівнянням:

$$DPP_k = \frac{Y_k + |NPV_{kY}|}{CF_{k(Y+1)}}, \quad (6.5)$$

де $DPP_k - DPP$, призначений для варіанту k , років; Y_k – становить кількість повних років до визначення загальної прибутковості для варіанту k , років; $CF_k(Y+1)$ – дисконтований грошовий потік у році $(Y + 1)$, призначений для варіанту k , USD; $NPV_k Y$ – це невідшкодовані витрати, визначені на початок року $(Y + 1)$, призначені для варіанту k , USD.

Як видно з результатів економічного аналізу, представленого в таблиці 6.4, як інтенсивні, так і екстенсивні зелені покриття мають позитивний показник чистої приведеної вартості NPV .

Таблиця 6.4

Результати економічного аналізу для інтенсивного та екстенсивного зеленого покриття у різних містах України

Місто	Інтенсивне зелене покриття			Екстенсивне зелене покриття		
	Чиста приве- дена вартість, USD	Внутрі- шня норма прибутко- вості, %	Дисконто- ваний строк окупності, рік	Чиста приве- дена вартість, USD	Внутрі- шня норма прибутко- вості, %	Дисконто- ваний строк окупності, рік
Київ	46,59	5,89	5,12	2,84	0,89	11,15
Харків	39,37	4,08	6,87	2,04	0,94	11,48
Дніпро	42,32	4,72	6,24	2,25	0,85	11,56
Львів	58,37	5,94	5,03	3,21	1,07	11,02

Інтенсивні зелені покриття є більш рентабельними, ніж екстенсивні, перш за все завдяки перевагам надання рекреаційного простору. Середній показник NPV на 1 м^2 інтенсивного зеленого покриття більш ніж в 10 разів перевищує середній NPV на 1 м^2 екстенсивного зеленого покриття.

Висновки до розділу

1. Економічний аналіз використання зелених конструкцій в урбанізованому середовищі показав, що затримання дощової води цими технологіями є екологічно та економічно доцільним. Підтверджено необхідність їх широкого впровадження в містах України з підтримкою державних ініціатив як на рівні територіальних громад, так і місцевих державних адміністрацій.

2. Екологічний ефект (ЕЕ) від впровадження зелених покриттів коливається від 394 000 м³ води у Дніпрі до 647 000 м³ у Львові, з середнім значенням 515 000 м³, що залежить від площі конструкції і середньорічної кількості опадів.

Економічний ефект (ЕСЕ), розрахований на 1000 доларів США, був найвищим у Києві та Львові, а найнижчим у Дніпрі та Харкові, з середнім показником для чотирьох міст 380 500 доларів США.

3. Як показують результати економічного аналізу, як інтенсивні, так і екстенсивні зелені покриття мають позитивне значення чистої приведеної вартості. Проте, інтенсивні зелені покриття є більш рентабельними, зокрема завдяки додатковим перевагам створення рекреаційних просторів. Середній показник NPV на 1 м² інтенсивного зеленого покриття більш ніж у 10 разів перевищує середній NPV на 1 м² екстенсивного зеленого покриття.

РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ У ЛАБОРАТОРІЇ З ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДОЩОВИХ ВОД

У зв'язку зі специфікою роботи до лабораторних установ висуваються особливі вимоги до якості повітрообміну. У лабораторії проєктується та встановлюється система вентиляції. Особливістю цих приміщень є робота з небезпечними речовинами. У групі ризику знаходяться всі працівники. Витяжне обладнання повинно відповідати вимогам, від нього залежить безпека людей [85].

Вентиляція лабораторії повинна вирішувати такі основні завдань:

- забезпечення якісного повітрообміну;
- підтримка певного показника температурного режиму, рівня вологості;
- виключення ризику виділення шкідливих та небезпечних сполук;
- мінімізація утворення вибухонебезпечних або пожежонебезпечних ситуацій [86].

Перед встановленням системи вентиляції потрібно провести розрахунки для визначення необхідного обладнання для лабораторії.

7.1 Методика встановлення системи вентиляції в лабораторії

У розрахунках будуть приведені формули для визначення об'єму приміщення, розмірів повітроводів та потужності калориферу.

1. Визначення площі приміщення

Необхідно визначити довжину та ширину приміщення лабораторії за формулою:

$$S = A \times B,$$

де A - довжина;

B - ширина.

Для визначення необхідної витрати повітря необхідно розрахувати два значення повітрообміну: за кількістю осіб та за кратністю, після цього вибрати найбільше із обох значень. Розрахунок повітрообміну за кількістю працюючих осіб визначають за формулою:

$$L = N \times L_{norm},$$

де L - ефективність припливної вентиляції, м/год;

N - кількість осіб;

L_{norm} - критерій витрати повітря на одну особу.

Розрахунок повітрообміну за кратністю:

$$L = n \times S \times H,$$

де n - нормована кратність повітрообміну ;

S - площа лабораторії, м²;

H - висота лабораторії, м

Після визначення повітрообміну для лабораторії, ми складаємо отримані дані, щоб з'ясувати продуктивність системи вентиляції.

2. Розрахунок розмірів повітроводів

Для визначення розмірів повітропроводів необхідно мати дані про об'єм повітря, який протікає через повітропровід за одиницю часу, а також найбільш можливу швидкість повітря в каналі. Знаходимо площа перерізу повітроводу, см²:

$$S_c = L \cdot \frac{2,778}{V},$$

де L - витрата повітря, м/год;

V - швидкість повітря, м/с;

2,778 - коефіцієнт.

Знаючи площу перерізу з таблиці 7.1, необхідно обрати тип повітропроводу.

Каталог «Параметри повітроводів»

Діаметр круглого повітроводу	Розміри прямокутного повітроводу	Площа перерізу повітроводу
Ø 100 мм	80×90 мм	72 см ²
	63×125 мм	79 см ²
Ø 110 мм	63×140 мм	88 см ²
	90×100 мм	90 см ²
Ø 125 мм	80×140 мм	112 см ²
	100×125 мм	125 см ²
Ø 140 мм	100×140 мм	140 см ²
	125×125 мм	156 см ²
Ø 160 мм	90×200 мм	180 см ²
	100×200 мм	200 см ²
Ø 180 мм	90×250 мм	225 см ²
	160×160 мм	256 см ²
Ø 200 мм	90×315 мм	283 см ²
	100×315 мм	315 см ²
Ø 225 мм	100×355 мм	355 см ²
	160×250 мм	400 см ²
Ø 250 мм	125×355 мм	443 см ²
	125×400 мм	500 см ²
Ø 300 мм	200×315 мм	630 см ²
	200×355 мм	710 см ²
Ø 315 мм	160×450 мм	720 см ²
	250×315 мм	787 см ²
Ø 350 мм	250×355 мм	887 см ²
	200×500 мм	1000 см ²
Ø 400 мм	250×450 мм	1125 см ²
	250×500 мм	1250 см ²

3. Потужність калориферу

Розраховуємо необхідну потужність калорифера – пристрій, який використовується для нагрівання повітря в системах повітряного опалення та вентиляції. Для цього необхідно знайти величину температури повітря на виході системи та найнижчої температури зовнішнього повітря в холодний період року.

Визначаємо потужність калориферу, кВт:

$$P = \frac{\Delta T \times L \times C_v}{100},$$

де ΔT - різниця температур повітря на виході та вході калориферу, °C; L - ефективність вентиляції, м/год. C_v - об'ємна теплоємність повітря, що дорівнює 0,336 Вт·ч/м³/°C [87].

За отриманими даними про повітрообмін, площу перерізу повітропроводів і потужність калорифера підбирається основне обладнання. Вентилятори будуть підібрані з врахуванням запасу потужності для забезпечення ефективної роботи навіть під час пікових періодів навантаження.

Повітропроводи підбирають з врахуванням агресивності середовища і обсягом вентилявання. Калорифери вибирають відповідно до теплових потреб системи. Їх потужність має вистачати для надання необхідного опалювального ефекту, що забезпечить комфортні умови у приміщенні [88].

7.1.2 Розрахунок системи вентиляції в лабораторії

Проведемо розрахунок системи вентиляції в лабораторії, розміри якого $8 \times 4 \times 2,5$ м. Кількість працівників в лабораторії складає 4 особи.

Розрахуємо площу лабораторії, м²:

$$S = A \times B = 8 \times 4 = 32$$

Обчислимо повітрообмін лабораторії за кількістю працюючих осіб, м/год:

$$L = N \times L_{norm} = 4 \times 60 = 240.$$

Визначемо повітрообмін за кратністю, м/год:

$$L = n \times S \times H = 2 \times 32 \times 2,5 = 160.$$

Обчислимо площу перерізу повітроводу, см²:

$$S_c = L \times \frac{2,778}{V} = 240 \times \frac{2,778}{3} = 225.$$

Визначемо ротужність калориферу, кВт:

$$P = \frac{31 \times 340 \times 0,336}{100} = 35.$$

Результати розрахунку наводимо у вигляді таблиці (табл. 7.2).

Таблиця 7.2

Розрахунок системи вентиляції

Параметри	Позначення	Значення
1	2	3
Вихідні дані		
Назва приміщення	Лабораторія хроматографії	
Розміри приміщення, м: довжина × ширина × висота	$A \times B \times H$	$8 \times 4 \times 2,5$
Площа лабораторії, м ²	S	32
Критерій витрати повітря на одну особу, м ³ /год	L_{norm}	60
Кількість осіб	N	4
Повітрообмін лабораторії за кількістю працюючих осіб, м/год	L	240
Нормована кратність повітрообміну	n	2
Повітрообмін за кратністю, м/год	L	160

1	2	3
Швидкість повітря, м/с	V	3
Площа перерізу повітроводу, см^2	Sc	225
Різниця температур повітря на виході та вході калориферу, $^{\circ}\text{C}$	ΔT	31
Ефективність вентиляції, м/год	L	340
Потужність калориферу, кВт	P	35

Отже, визначивши площу перерізу повітроводу, було підібрано прямокутний повітропровід розміром 90×250 мм, ефективність вентиляції складає 340 м/год.

7.2 Види вентиляційних систем

Вентиляційна система лабораторії складається з різних компонентів, які сприяють забезпеченню чистого та безпечного повітряного середовища. Основні компоненти включають:

1. Припливна вентиляція. Завдання припливної вентиляційної системи полягає в доставці свіжого та заздалегідь очищеного повітря до лабораторії. Установки розташовані у стелі і регулюються так, щоб відповідати обчисленим величинам повітряного обміну та допустимій швидкості потоку.

2. Витяжна вентиляція - це необхідне оснащення для лабораторій, яке видаляє шкідливі речовини та викиди з робочого простору. Витяжна система включає витяжні повітроводи та різні витяжні установки, такі як витяжні шафи, ламінарні камери, реагентні та хімічні шафи.

3. Комплексні припливно-витяжні вентиляційні системи. Ці системи допомагають регулювати мікроклімат у приміщенні та забезпечують необхідний повітрообмін у лабораторному боксі. Сучасне оснащення володіє регуляторами змінної витрати повітря, які регулюють швидкість потоку повітря на рівні 0,5 м/с. Потік повітря може динамічно змінюватися в залежності від теплових навантажень та кількості працівників в приміщенні.

4. Аварійна витяжна вентиляція. Вона встановлюється в приміщеннях, де може виникнути аварія з викидом отруйних газів або небезпечних речовин. Оснащення обладнано датчиками, які автоматично спрацьовують у разі виявлення небезпечних компонентів або критичного перевищення гранично допустимої концентрації.

5. Витяжні шафи. Ці елементи обладнання є надзвичайно важливими та необхідними для безпечної роботи з агресивними та токсичними речовинами. Вони виготовляються з матеріалів, які стійкі до шкідливих механічних, хімічних та термічних впливів [89].

Основна мета вентиляційної системи - забезпечити безпечні та комфортні умови для роботи в лабораторії, захистити персонал від шкідливих впливів речовин та запобігти небезпечним ситуаціям, таким як аварії з викидами. Правильне використання та належний догляд за вентиляційною системою є критично важливим для успішної та безпечної роботи лабораторії.

7.3 Методика визначення освітлення в лабораторії

Освітлення – найважливіший фактор забезпечення безпеки та здоров'я людини. Світло взаємодіє з організмом, дозволяючи йому сприймати навколишнє середовище та отримувати 80% інформації. Крім того, воно має значний вплив на біологічні процеси. Виробничі умови та освітлення робочого місця мають прямий вплив на зорову функцію людини, стан її центральної нервової системи, продуктивність, якість та безпеку праці [90].

Лабораторні дослідження, які вимагають високої точності зорової роботи, потребують спеціального підходу до освітлення. При проведенні робіт в лабораторії використовується комбіноване освітлення, яке включає природне світло через вікна і штучне світло з використанням люмінесцентних ламп.

Сонце є природним джерелом освітлення. У приміщеннях умови освітлення характеризуються переважно дифузним світлом, яке проникає

через вікна, а також відбитим світлом від земної поверхні. Через те, що природне світло постійно змінює свою інтенсивність протягом дня, навіть протягом декількох хвилин, воно нормується за коефіцієнтом природного освітлення (КПО). КПО (e) визначається значенням природної освітленості в приміщенні (E_v) до зовнішньої горизонтальної освітленості (E_H), створеної світлом у безхмарну погоду. КПО виражається формулою:

$$e = \frac{E_v}{E_H} \times 100, \%$$

Коефіцієнт природного освітлення демонструє відношення зовнішнього дифузного світла, до освітленості в розрахунковій точці, яке потрапляє в середину приміщення.

Метод визначення площі світлових отворів заключається у знаходженні такої площі світлових отворів, за якої забезпечується встановлене нормативне значення КПО.

Розрахунок здійснюється за формулами:

а) при бічному освітленні приміщень, m^2 :

$$S_0 = \frac{S_n \times e_N \times k_3 \times \eta_0}{100 \times \tau_0 \times r_1} \times K_{зд}.$$

б) при верхньому освітленні, m^2 :

$$S_\phi = \frac{S_n \times e_N \times k_3 \times \eta_\phi}{100 \times \tau_0 \times r_2 \times k_\phi},$$

де S_n - площа підлоги лабораторії; e_N - нормативна величина КПО для будівель; k_3 - коефіцієнт запасу; $K_{зд}$ - коефіцієнт, який оцінює затінення вікон навпроти розташованих будівель; η_0 - світлова особливість вікна; r_1 -

коефіцієнт, який оцінює збільшення КПО при бічному освітленні, світло яке відбите від поверхонь лабораторії та підстиляючого шару, який знаходиться біля будівлі; η_{ϕ} - світлова особливість лампи; r_2 - коефіцієнт, що оцінює збільшення КПО при верхньому освітленні, світло яке відбите від поверхонь лабораторії; κ_{ϕ} - коефіцієнт, який оцінює тип лампи; τ_0 - коефіцієнт проникнення світла, що визначається за формулою:

$$\tau_0 = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3 \times \tau_4 \times \tau_5,$$

де τ_1 - коефіцієнт проникнення світла матеріалу; τ_2 - коефіцієнт, який оцінює попадання світла з вікон; τ_3 - коефіцієнт, який оцінює попадання світла в спорудах; τ_4 - коефіцієнт, який оцінює попадання світла в світлозахисних пристосуваннях; τ_5 - коефіцієнт, який оцінює попадання світла в заслонній сітці, яка монтується під ліхтарем.

Визначити відносну площу світлових отворів можна за формулами [91]:

а) при бічному освітленні приміщень, %:

$$\sigma_6 = \frac{S_o}{S_n} \times 100.$$

б) при верхньому освітленні, %:

$$\sigma_d = \frac{S_{\phi}}{S_n} \times 100.$$

7.3.1 Розрахунок освітлення в лабораторії

Проведемо обчислення освітлення в лабораторії, розміри якого $8 \times 4 \times 2,5$ м та площею підлоги 32 м^2 . Тип освітлення – бічне.

Визначемо коефіцієнт проникнення при бічному освітленні:

$$\tau_{06} = \tau_1 \times \tau_2 \times \tau_3 \times \tau_4 \times \tau_5 = 1,8 \times 0,6 \times 0,9 \times 1 \times 0,9 = 0,972.$$

Розрахуємо площу світлових отворів при бічному освітленні приміщень, м²:

$$S_0 = \frac{S_n \times e_N \times k_3 \times \eta_0}{100 \times \tau_0 \times r_1} \times K_{зд} = \frac{32 \times 1,2 \times 1,2 \times 9,5}{100 \times 0,972 \times 1,2} \times 1,1 = 4,13.$$

Обчислимо відносну площу світлових отворів, %:

$$\sigma_6 = \frac{S_0}{S_n} \times 100 = \frac{4,13}{32} \times 100 = 12,9.$$

Результати розрахунку наводимо у вигляді таблиці (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Розрахунок природнього освітлення

Параметри	Позначення	Значення
1	2	3
Вихідні дані		
Назва приміщення	Лабораторія	
Розміри приміщення, м: довжина × ширина × висота	$A \times B \times H$	$8 \times 4 \times 2,5$
Площа підлоги лабораторії, м ²	S_n	32
Тип освітлення	бічне	
Коефіцієнт проникнення світла матеріалу	τ_1	1,8
Коефіцієнт, який оцінює попадання світла з вікон	τ_2	0,6
Коефіцієнт, який оцінює попадання світла в спорудах	τ_3	0,9
Коефіцієнт, який оцінює попадання світла в світлозахисних пристосуваннях	τ_4	1
Коефіцієнт, який оцінює попадання світла в заслонній сітці, яка монтується під ліхтарем	τ_5	0,9
Коефіцієнт проникнення при бічному освітленні	τ_0	0,972
Нормативна величина КПО для будівель	e_N	1,2
Коефіцієнт запасу	k_3	1,2
Коефіцієнт, який оцінює затінення вікон навпроти розташованих будівель	$K_{зд}$	1,1
Світлова особливість вікна	η_0	9,5

Продовження таблиці 7.3

1	2	3
Коефіцієнт, який оцінює збільшення КПО при бічному освітленні	r_1	1,2
Світлова особливість лампи	η_ϕ	16
Коефіцієнт, який оцінює тип лампи	κ_ϕ	1,2
Площа світлових отворів при бічному освітленні приміщень, м^2	S_0	4,13
Відносна площа світлових отворів, %	σ_0	12,9

Визначено природне освітлення лабораторії, в якому площа світлових отворів при бічному освітленні приміщень склала $4,13 \text{ м}^2$, відносна площа світлових отворів становить 12,9 %.

7.4 Методика розміщення освітлювальних приладів

Першим завданням розміщення світильників є визначення розрахункової висоти підвісу H_D :

$$H_D = H - h_{\bar{n}} - h_{\delta},$$

де H – висота приміщення, м; $h_{\bar{n}}$ – відстань світильників від стелі, як правило, приймається в межах 0 - 1,5 м; h_{δ} – висота робочої поверхні над підлогою, м.

Для забезпечення рівномірного освітлення світильники зазвичай розташовують у вершинах квадрата або ромба. Оптимальна відстань між лампами визначається за формулою:

$$\lambda_{\bar{n}} \times H_D \leq L \leq \lambda_{\gamma} \times H_D,$$

де $\lambda_{\bar{n}}$, λ_{γ} – відносні освітлювальні та енергетично найбільш вигідні відстані між лампами.

За відомою довжині A і ширині B кімнати можна визначити кількість рядів світильників:

$$N_2 = \frac{B - 2 \times l_b}{L_b} + 1.$$

а також кількість ламп в одному ряду

$$N_1 = \frac{B - 2 \times l_a}{L_a} + 1.$$

і загальна кількість світильників у кімнаті

$$N_{\Sigma} = N_1 \times N_2.$$

У практиці для світлотехнічного розрахунку найчастіше застосовують метод коефіцієнта використання світлового потоку (КЗСП), який дозволяє визначити освітлення горизонтальних поверхонь з урахуванням відбитих складових світлового потоку. Метод полягає у визначенні КЗСП рівного значення світлового потоку, яка потрапляє на обчислювальну поверхню, до повного потоку освітлювальної установки.

Залежність КЗСП від площі приміщення, висоти та форми враховується однією комплексною характеристикою – індексом приміщення:

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)},$$

де A і B – ширина та довжина лабораторного приміщення, м; h – висота знаходження ламп над робочим місцем.

Основна розрахункова формула методу КЗСП:

$$F = \frac{K_{\zeta} \times Z \times E_{i\delta} \times S}{N \times \eta},$$

де K_{ζ} – коефіцієнт запасу; Z – коефіцієнт мінімальної освітленості; $E_{i\delta}$ – нормативна освітленість, лк; N – кількість ламп (якщо передбачається світильник з однією лампою, то $N = N_{\Sigma}$ тобто числу світильників); η – коефіцієнт застосування світлового потоку; S – площа поверхні приміщення, що освітлюється, м².

Для люмінесцентних ламп, що є лінійними джерелами світла, через невеликий діапазон їх потужностей заздалегідь вибирають лампу, а потім визначають їх необхідну кількість за формулою:

$$N = \frac{K_{\zeta} \times Z \times E_{\text{fif}} \times S}{F \times \eta}.$$

Далі, з урахуванням попереднього розрахунку кількості рядів, визначається число світильників у ряду (з урахуванням того, що число ламп у світильнику $N_{\text{н}}$ може бути більше одиниці) і округляється у бік збільшення:

$$N_1 = \frac{N_{\Sigma}}{N_2},$$

де у загальному випадку число світильників $N_{\Sigma} = N/N_{\text{н}}$.

Відстань між світильниками в ряду можна визначити так:

$$L_D = \frac{A - N_1 \times l_{\text{н}} - 2 \times l_A}{N_1 - 1},$$

де $l_{\text{н}}$ - Довжина світильника, м.

Слід також перевірити рівномірність освітлення при отриманій кількості світильників шляхом перевірки умови $0 \leq LD \leq 1,5 \times L_D$. Якщо умова не виконується, слід вибрати лампу іншої потужності [92].

7. 4.1 Розрахунок розміщення освітлювальних приладів

Визначемо розміщення освітлювальних приладів у вимірювальній лабораторії. Тип світильника - ЛПО, тип КСС Д. Відстань від стелі до світильника – 0,1 м. Відстань від підлоги до робочої поверхні – 1 м. Відстань від стіни до ряду світильників – 0,5 м. Відстань від стіни до світильника в ряду – 0,5 м.

Розрахуємо висоту підвісу світильника, м:

$$H_D = H - h_{\bar{n}} - h_{\bar{\delta}} = 2,5 - 1,4 - 1 = 0,1.$$

Визначаємо оптимальну відстань (між рядами), м:

$$\lambda_{\bar{n}} \times H_D \leq L \leq \lambda_{\bar{y}} \times H_D;$$

$$1,8 \cdot 0,1 \leq L \leq 2,6 \cdot 0,1.$$

приймаємо $L_B = L = 0,22$.

Обчислюємо число рядів світильників:

$$N_2 = \frac{B - 2 \times l_b}{L_b} + 1 = \frac{4 - 2 \times 0,5}{0,22} + 1 = 3.$$

Розраховуємо число світильників у ряду:

$$N_1 = \frac{B - 2 \times l_a}{L_a} + 1 = \frac{4 - 2 \times 0,5}{0,22} + 1 = 3.$$

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)} = \frac{8 \times 4}{2,5 \times (8 + 4)} = 1,07.$$

Обчислимо число світильників у приміщенні:

$$N_{\Sigma} = N_1 \times N_2 = 3 \times 3 = 9.$$

Розрахуємо сумарну довжина світильників, м:

$$L_{\Sigma} = N_1 \times l_{\bar{n}} = 3 \times 2 = 6.$$

Визначимо відстань між світильниками, м:

$$L_D = \frac{A - N_1 \times l_{\text{н}} - 2 \times l_A}{N_1 - 1} = \frac{8 - 3 \times 2 - 2 \times 0,5}{3 - 1} = 0,5.$$

Умова рівномірності освітлення:

$$0 \leq L_D \leq 0,75, \text{ умова виконується}$$

Обчислимо потужність системи освітлення, Вт:

$$P_i = N \times P_E = 9 \times 40 = 360.$$

Розрахуємо питому потужність, Вт/м²:

$$P_{\text{о\u0430}} = \frac{P_i}{S} = \frac{360}{32} = 11,25.$$

Результати розрахунку наводимо у вигляді таблиці (табл. 7.4).

Таблиця 7.4

Розрахунок освітлення світильниками в лабораторії

Параметри	Позначення	Значення
1	2	3
Вихідні дані		
Назва приміщення	Лабораторія хроматографії	
Розміри приміщення, м: довжина × ширина × висота	$A \times B \times H$	$8 \times 4 \times 2,5$
Площа поверхні, що освітлюється, м ²	S	32

Продовження таблиці 7.4

1	2	3
Нормативна освітленість, лк	$E_{\text{н}}^{\text{н}}$	300
Коефіцієнт запасу	$K_{\text{з}}$	1,4
Тип світильника	ЛПО, тип КСС Д	
Відстань від стелі до світильника (звис), м	$h_{\text{н}}$	0,1
Відстань від підлоги до робочої поверхні, м	$h_{\text{д}}$	1
Висота підвісу світильника, м	$H_{\text{Д}}$	0,1
Коефіцієнт нерівномірності освітлення	Z	1,1
Коефіцієнти відображення: стеля, стіни, підлога	$\rho_{\text{п}}, \rho_{\text{с}}, \rho_{\text{р}}$	70, 70, 30
Попередній вибір розташування світильників		
Оптимальна відстань (між рядами), м	$L (L_{\text{В}})$	$1,8 \times H_{\text{Д}} = 0,18;$ $2,6 \times H_{\text{Д}} = 0,26;$ $L_{\text{В}} = L = 0,22$
Відстань від стіни до ряду світильників, м:	$l_{\text{б}}$	0,5
Відстань від стіни до світильника в ряду, м	$l_{\text{а}}$	0,5
Число рядів світильників	N_2	3
Число світильників у ряду	N_1	3
Вибір лампи		
Тип люмінесцентної лампи	ЛБ40-4	
Світловий потік вибраної лампи, лм	$\Phi_{\text{Е}}$	2850
Потужність вибраної лампи, Вт	$P_{\text{Е}}$	40
Вибір числа ламп та світильників, розташування світильників		
Індекс приміщення	i	1,07
КЗСП	η	0,58
Число ламп у приміщенні	N	9
Тип світильника; габарити, мм	ЛПО01-2х40, тип КСС – Д; 2000×500×10	
Число ламп у вибраному світильнику	$N_{\text{н}}$	2
Число світильників у приміщенні	N_{Σ}	9
Сумарна довжина світильників, м	L_{Σ}	6
Відстань від стіни до світильника в ряду, м:	$l_{\text{а}}$	0,5
Відстань між світильниками, м	$L_{\text{Д}}$	0,5
Умова рівномірності освітлення	$0 \leq L_{\text{Д}} \leq 0,75$, умова виконується	
Потужність системи освітлення, Вт	$P_{\text{і}}$	360
Питома потужність, Вт/м ²	$P_{\text{оä}}$	11,25

Розраховано встановлення світильника ЛПО01-2х40 для лабораторії хроматографії в кількості 9 шт та потужністю освітлення в 360 Вт.

7.5 Правила техніки безпеки у лабораторії вимірювання показників якості дощових вод

Кожен співробітник повинен дотримуватись певних вимог щодо безпеки, які включають наступне:

1. Проходження інструктажу з технічної та пожежної безпеки перед початком роботи.
2. Вміти користуватися аптечкою та знати її місцезнаходження для надання першої допомоги при опіках та отруєннях.
3. Використання засобів індивідуального захисту.
4. Забороняється використовувати для підключення електроприладів дроти з пошкодженою або відсутньою ізоляцією, а також дроти, не обладнані штекерами
5. Здійснення повного прибирання лабораторії після закінчення робочого дня, а також відключення газопостачання, електроенергії та водопостачання з метою попередження можливих небезпечних ситуацій.
6. Працювати в лабораторії дозволено лише у присутності щонайменше двох осіб.
7. Під час перебування в лабораторії заборонено приймати їжу, палити та пити воду.
8. Заборонено використовувати для дослідів невимитий посуд.
9. Після закінчення роботи, лабораторний посуд слід негайно ретельно вимити.
10. Важливо не залишати без нагляду обладнання увімкненим [53].
11. Особисті речі заборонено зберігати безпосередньо в лабораторії. Вони мають бути розміщені у спеціально організованих для цього місцях.

12. Заборонено проводити дослідження при несправних вентиляційних системах або поломках обладнання, а також використовувати очищаючі або фільтруючі пристрої, які не працюють належним чином [52].

13. Заборонено використовувати речовини з посуду, що не мають належної етикетки. Це може призвести до небезпечного споживання чи неправильного використання матеріалів.

14. Підтримуйте своє робоче місце в лабораторії чистим і організованим. Забороняється заставляти його посудом, папером та іншими матеріалами [52].

Здійснюючи дослідження в лабораторії, важливо дотримуватись цих правил і заборон, оскільки вони спрямовані на забезпечення безпеки та ефективності дослідницької роботи.

7.6 Правила пожежної безпеки

У лабораторії обов'язково повинні бути засоби пожежогасіння для забезпечення безпеки працівників та запобігання виникненню пожеж. Кожен працівник повинен вміти користуватися засобами пожежогасіння та знати їхнє розташування для негайного застосування в разі виникнення пожежі.

Обов'язковою є наявність у лабораторії таких засобів пожежогасіння:

1. Вогнегасник (вуглекислотний або рідинний), закріплений біля входних дверей.

2. Відкритий ящик із сухим піском та совком.

3. Ящик, який призначений для збору використаного паперу та промаслених ганчірок. Періодично цю ємність слід очищати.

4. Колби з тонкого скла з чотирихлористим вуглецем або концентрованим нашатирним спиртом. Їх встановлюють біля входних дверей. Колбу слід із силою кинути в полум'я для усунення загрози пожежі.

При виявленні пожежі потрібно:

1. При виявленні займання слід негайно зателефонувати до пожежної служби.

2. Необхідно перемістити вибухонебезпечні та легкозаймисті речовини в безпечне місце.

3. Самостійно забезпечте гасіння пожежі зазначеними вище засобами [53].

ВИСНОВКИ

«Місто-губка» - це концепція вирішення проблем, пов'язаних з водою в містах. Основною метою цієї концепції є створення еколого-економічного шляху розвитку в умовах збереження природних водних ресурсів та відновлення забруднених водних об'єктів. Практичні процеси концепції «міста-губки» включають інфільтрацію, затримання, вловлювання, очищення, утилізацію та відведення дощової води.

Ключовими підходами до реалізації концепції «міста-губки» є застосування систем біоретенції та створення потокових мереж очищення зливових вод.

Система біоретенції - це практика вирішення проблем, пов'язаних з якістю та кількістю води, за допомогою рослин, мікроорганізмів та ґрунту на певній території. Основні поняття, пов'язані з системою біоретенції, включають фіторе mediaцію, яка стосується використання рослин для очищення забрудненої води, біоре mediaція - використання живих мікроорганізмів для видалення забруднювачів і відновлення природного середовища, органічна речовина ґрунту - всі органічні матеріали (за винятком надземних живих рослин), пов'язані з ґрунтом: його ущільнення, структурний стан - обидва поняття стосуються питань стану ґрунту і впливу на ріст та розвиток рослин.

Технологічний ланцюг очищення зливових вод - це комплексний підхід, який з'єднує ряд очисних споруд один з одним, утворюючи безперервний ланцюг управління зливовими водами, щоб врахувати всі аспекти руху стоків на цільовій території. Основні споруди включають зелений дах, водопроникне покриття, сівалку, фільтруючу смугу, вал, дощовий сад і ставок.

Отже, місце проведення практичного проєкту дослідження розташоване в південній частині міста Лейнефельде-Вобіс, невеликого містечка на північному заході Тюрінгії, Німеччина.

Основною метою цього проєкту є пошук підходу до усунення загрози забруднення води з території міста-саду до річки Оне. Проаналізувавши різні аспекти забруднення води (включаючи основні причини, категорії, джерела та наслідки), запропоновано чотири основні стратегії (включаючи натуралізацію прибережної зони, зменшення непроникних поверхонь, збільшення рослинного покриву, покращення стану ґрунту, відокремлення дощової води від каналізаційних стоків та створення зливової каналізації) для подальшої практики планування та проєктування.

Завдяки аналізу теорій концепції міста-губки у відповідній літературі, а також розробці ефективного підходу до проблем забруднення приймаючих вод поблизу житлових районів шляхом пропозиції нового ландшафтного плану для району «міста-саду» Лейнефельде-Ворбіс, науковий принцип управління зливовими водами можна сформулювати як «застосування низки відповідних практик біоретенції для створення циклу очищення зливових вод на цільових територіях».

Для підвищення стійкості та ефективності обраних споруд біоретенції, здоров'я ґрунту і вибір рослин повинні бути враховані при розробці стратегії ділянки, а також при подальшому плануванні та проєктуванні. Ущільнення ґрунту та органічна речовина є основними факторами, що впливають на здоров'я ґрунту та його здатність до очищення води. Рослини, які підходять для загальних практик біоретенції, повинні бути стійкими до повеней і посухи, що пов'язано з умовами навколишнього середовища у типових спорудах біоретенції.

Всі компоненти, що формують систему очищення зливових стоків, повинні бути обрані з урахуванням їх характеристик (відповідне місце розташування, потужність очищення води тощо) та умов місцевого середовища (проникність ґрунту, навколишні приймаючі води і т.д.). Вибір

типу біорешітки (з повною інфільтрацією, частковою інфільтрацією та без інфільтрації) також залежить від практичних потреб та умов навколишнього середовища.

Продуктивність системи дощових очисних споруд повинна бути спрогнозована заздалегідь за допомогою наукового аналізу або розрахунків, щоб забезпечити ефективність контролю кількості та якості дощової води.

Деякі технології, включаючи подальшу обробку таких забруднювачів, як хлорид, натрій та інші, які не можуть бути повністю видалені за допомогою методів біоретенції. Це – завдання для подальших досліджень.

Економічний аналіз використання зелених конструкцій в урбанізованому середовищі показав, що затримання дощової води цими технологіями є екологічно та економічно доцільним. Підтверджено необхідність їх широкого впровадження в містах України з підтримкою державних ініціатив як на рівні територіальних громад, так і місцевих державних адміністрацій.

Екологічний ефект (ЕЕ) від впровадження зелених покриттів коливається від 394 000 м³ води у Дніпрі до 647 000 м³ у Львові, з середнім значенням 515 000 м³, що залежить від площі конструкції і середньорічної кількості опадів.

Економічний ефект (ЕСЕ), розрахований на 1000 доларів США, був найвищим у Києві та Львові, а найнижчим у Дніпрі та Харкові, з середнім показником для чотирьох міст 380 500 доларів США.

Як показують результати економічного аналізу, як інтенсивні, так і екстенсивні зелені покриття мають позитивне значення чистої приведеної вартості. Проте, інтенсивні зелені покриття є більш рентабельними, зокрема завдяки додатковим перевагам створення рекреаційних просторів. Середній показник NPV на 1 м² інтенсивного зеленого покриття більш ніж у 10 разів перевищує середній NPV на 1 м² екстенсивного зеленого покриття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Koroso N. H., Lengoiboni M., Zevenbergen J. A. Urbanization and urban land use efficiency: Evidence from regional and Addis Ababa satellite cities, Ethiopia. *Habitat International*. 2021. Вип. 117. С. 102437. DOI:10.1016/j.habitatint.2021.102437
2. Hunchenko O., Voloshkina O., Korduba I., Kravchenko M. The conceptual framework of sustainable development and the role of environmental and technogenic safety in achieving it. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 907, Issue 1. P. 012080. DOI:10.1088/1757-899X/907/1/012080.
3. Coates R. Infrastructural events? Flood disaster, narratives and framing under hazardous urbanisation. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2022. Вип. 74. С. 102918. DOI:10.1016/j.ijdr.2022.102918.
4. Anna Podlasek, Magdalena Daria Vaverková, Eugeniusz Koda, Trach Y., Melnychuk V. et al. Using local mineral materials for the rehabilitation of the Ustya River – a case study. *Desalination and water treatment*. 2021. Vol. 232. P. 346–356. DOI:10.5004/dwt.2021.27559
5. Pinasseau L., Wiest L., Volatier L. та ін. Emerging polar pollutants in groundwater: Potential impact of urban stormwater infiltration practices. *Environmental Pollution*. 2020. Вип. 266. С. 115387. DOI:10.1016/j.envpol.2020.115387.
6. Sicard P., Agathokleous E., Araminiene V. та ін. Should we see urban trees as effective solutions to reduce increasing ozone levels in cities? *Environmental Pollution*. 2018. Вип. 243. С. 163–176. DOI:10.1016/j.envpol.2018.08.049.
7. Grimm N. B., Faeth S. H., Golubiewski N. E. та ін. Global Change and the Ecology of Cities. *Science*. 2008. Вип. 319, № 5864. С. 756–760. DOI:10.1126/science.1150195.

8. Syrbe R.-U., Neumann I., Grunewald K. та ін. The Value of Urban Nature in Terms of Providing Ecosystem Services Related to Health and Well-Being: An Empirical Comparative Pilot Study of Cities in Germany and the Czech Republic. *Land*. 2021. Вип.10, № 4. С. DOI:10.3390/land10040341

9. Colding J., Gren Å., Barthel S. The Incremental Demise of Urban Green Spaces. *Land*. 2020. Вип. 9, № 5. С. 162. DOI:10.3390/land9050162

41. Lindholm G. Land and Landscape; Linking Use, Experience and Property Development in Urban Areas. *Land*. 2019. Вип. 8, № 9. С. 137. DOI:10.3390/land8090137

10. Sowińska-Świerkosz B., García J. What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions*. 2022. Вип. 2. С. 100009. DOI:10.1016/j.nbsj.2022.100009.

11. Hanson H. I., Wickenberg B., Alkan Olsson J. Working on the boundaries—How do science use and interpret the nature-based solution concept? *Land Use Policy*. 2020. Вип. 90. С. 104302. DOI:10.1016/j.landusepol.2019.104302

12. European Commission. Directorate General for Research and Innovation. Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & renaturing cities: final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature based solutions and re naturing cities' : (full version). LU : Publications Office, 2015. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/765301> (дата звернення: 31.07.2024).

13. IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS | NetworkNature. URL: <https://networknature.eu/product/26490> (accessed 31/07/2024).

14. Langergraber G., Pucher B., Simperler L. та ін. Implementing nature-based solutions for creating a resourceful circular city. *Blue-Green Systems*. 2020. Вип. 2, № 1. С. 173–185. DOI:10.2166/bgs.2020.933

15. The United Nations world water development report 2018: nature-based solutions for water; facts and figures | Policy Commons. URL:

<https://policycommons.net/artifacts/8219280/the-united-nations-world-waterdevelopment-report-2018/9133184/> (accessed 30/07/2024).

16. Gimenez-Maranges M., Breuste J., Hof A. Sustainable Drainage Systems for transitioning to sustainable urban flood management in the European Union: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Вып. 255. С. 120191. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.120191.

17. Cook S., Van Roon M., Ehrenfried L. та ін. WSUD “Best in Class”—Case Studies From Australia, New Zealand, United States, Europe, and Asia. *Approaches to Water Sensitive Urban Design*. Elsevier, 2019. С. 561–585. DOI:10.1016/B978-0-12-812843-5.00027-7.

18. O'Donnell E. C., Thorne C. R., Alan Yeakley J. Managing urban flood risk in Blue-Green cities: The Clean Water for All initiative. *Journal of Flood Risk Management*. 2019. Вып. 12, № 1. С. e12513. DOI:10.1111/jfr3.12513.

19. Jia H., Yin D., Jia H., Yin D. Green Infrastructure for Stormwater Runoff Control in China. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press, 2021. DOI:10.1093/acrefore/9780199389414.013.765.

20. Li H., Ding L., Ren M. та ін. Sponge City Construction in China: A Survey of the Challenges and Opportunities. *Water*. 2017. Вып. 9, № 9. С. 594. DOI:10.3390/w9090594.

21. Kravchenko M. V., Tkachenko T. M. Problems of improving the terminology and modern classification of “green” constructions for the creation of ukrainian “green” standards. *Collection of Scientific Publications NUS*. 2013. Vol. 493, Issue 4. P. 194–204. DOI:10.15589/znp2023.4(493).26.

22. Бондаренко Д. В., Матях С. В., Суржик Т. В. et al. Development trends of solar power engineering based on the materials of the scientific and practical conference «renewable energy and energy efficiency in the 21». *Vidnovluvana energetika*. 2024. Issue 3(78). P. 76–83. DOI:10.36296/1819-8058.2024.3(78).76-83.

23. Alim M. A., Rahman A., Tao Z. та ін. Green roof as an effective tool for sustainable urban development: An Australian perspective in relation to stormwater and building energy management. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Вип. 362. С. 132561. DOI:10.1016/j.jclepro.2022.132561.

24. Burszta-Adamiak E., Biniak-Pieróg M., Dąbek P. B. та ін. Rain garden hydrological performance – Responses to real rainfall events. *Science of The Total Environment*. 2023. Вип. 887. С. 164153. DOI:10.1016/j.scitotenv.2023.164153

25. Ткаченко Т. М., Кравченко М. В., Василенко Л. О. Вплив «зелених» покрівель на якість дощового стоку в міському середовищі. *Geochemistry of Technogenesis*. 2023. Issue 37. P. 65–71. DOI:10.32782/geotech2023.37.10.

26. Kravchenko M., Tkachenko T., Mileikovskiy V. Modification of the «green» roof using technical solutions to reduce the negative impact of stormwater in urban conditions. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulic*. 2023. Issue 43. P. 16–28. DOI:10.32347/2524-0021.2023.43.16-28.

27. Tkachenko T., Kravchenko M., Vasylenko L. et al. «Green» structures in the urbanized environment: studying the impact of «green» roofs on environmental parameters and rainwater quality. Bibliographic review. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulic*. 2024. Issue 46. P. 48–64. DOI:10.32347/2524-0021.2024.46.48-64.

28. Wisconsin Department of Natural Resources. URL: <https://dnr.wisconsin.gov/> (accessed 18/04/2024).

29. Bąk J., Barjenbruch M. Benefits, Inconveniences, and Facilities of the Application of Rain Gardens in Urban Spaces from the Perspective of Climate Change—A Review. *Water*. 2022. Вип. 14, № 7. С. 1153. DOI:10.3390/w14071153.

30. Rain gardens. URL: <https://www.susdrain.org/delivering-suds/usingsuds/suds-components/infiltration/rain-gardens.html> (accessed 12/03/2024).

68. Home | Natural Resources Conservation Service. URL: <https://www.nrcs.usda.gov/> (accessed 12/03/2024).

31. What is Green Infrastructure? | US EPA. URL: <https://www.epa.gov/greeninfrastructure/what-green-infrastructure#raingardens> (accessed 01/08/2024).

32. Morash J., Wright A., LeBleu C. та ін. Increasing Sustainability of Residential Areas Using Rain Gardens to Improve Pollutant Capture, Biodiversity and Ecosystem Resilience. *Sustainability*. 2019. Вип. 11, № 12. С. 3269. DOI:10.3390/su11123269.

33. Soak Up the Rain: Rain Gardens | US EPA. URL: <https://www.epa.gov/soakuptherain/soak-rain-rain-gardens> (accessed 01/08/2024).

34. Liu J., Sample D., Bell C. та ін. Review and Research Needs of Bioretention Used for the Treatment of Urban Stormwater. *Water*. 2014. Вип. 6, № 4. С. 1069–1099. DOI:10.3390/w6041069.

35. Jiang C., Li J., Li H. та ін. An improved approach to design bioretention system media. *Ecological Engineering*. 2019. Вип. 136. С. 125–133. DOI:10.1016/j.ecoleng.2019.06.014.

36. Davis A. P., Hunt W. F., Traver R. G. та ін. Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs. *Journal of Environmental Engineering*. 2009. Вип. 135, № 3. С. 109–117. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:3(109).

37. Wanitchayapaisit C., Suppakittpaisarn P., Charoenlertthanakit N. et al. Rain garden design for stormwater management in Chiang Mai, Thailand: A Researchthrough-Design Study. *Nakhara : Journal of Environmental Design and Planning*. 2022. Vol. 21, Issue 3. P. 222. DOI:10.54028/NJ202221222.

38. Greksa A., Blagojević B., Grabić J. Nature-based Solutions in Serbia: Implementation of Rain Gardens in the Suburban Community Kać. *Environmental Processes*. 2023. Вип. 10, № 3. С. 41. DOI:10.1007/s40710-023-00659-2.

39. Hu T., Chang J., Syrbe R.-U. Green Infrastructure Planning in Germany and China. *Research in Urbanism Series*. 2020. Vol. 6. С. 99-126 Pages. DOI:10.7480/RIUS.6.96.

40. Nickel D., Schoenfelder W., Medearis D. та ін. German experience in managing stormwater with green infrastructure. *Journal of Environmental Planning and Management*. 2014. Вип. 57, № 3. С. 403–423. DOI:10.1080/09640568.2012.748652.
41. Brudermann T., Sangkakool T. Green roofs in temperate climate cities in Europe – An analysis of key decision factors. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017. Вип. 21. С. 224–234. DOI:10.1016/j.ufug.2016.12.008.
42. Burszta-Adamiak E., Fialkiewicz W. A review of green roof incentives as motivators for the expansion of green infrastructure in European cities. *Scientific Review Engineering and Environmental Studies (SREES)*. 2019. Vol. 28, Issue 4. P. 641–652. DOI:10.22630/PNIKS.2019.28.4.58.
43. Zaręba A., Krzemińska A., Adynkiewicz-Piragas M. та ін. Water Oriented City—A ‘5 Scales’ System of Blue and Green Infrastructure in Sponge Cities Supporting the Retention of the Urban Fabric. *Water*. 2020. Вип. 14, № 24. С. 4070. DOI:10.3390/w14244070.
44. Bydgoszcz już wkrótce będzie «miastem-gąbką». Są pierwsze kontrakty. URL: <https://portalkomunalny.pl/bydgoszcz-juz-wkrotce-bedzie-miastem-gabka-sapierwsze-kontrakty-376409/> (accessed 23/08/2024).
45. Legnica: Projekt „Miasto Gąbka” | Serwis Samorządowy PAP. URL: <https://samorząd.pap.pl/klub-samorzadowy/legnica/kategoria/wiadomosciklubowe/legnica-projekt-miasto-gabka> (accessed 23/08/2024).
46. Yin D., Chen Y., Jia H. та ін. Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Вип. 28. С. 124963. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.124963.
47. Kravchenko M., Bereznytska Y., Hunchenko O. та ін. The theoretical calculation of activity coefficients in the use of baromembrane methods for water treatment. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2021» International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2021»*. (Lviv, Ukraine, 2021). Lviv, Ukraine, : European Association of Geoscientists & Engineers, 2021. DOI:10.3997/2214-4609.20215K3028. С. 1–5.

48. Homepage - Water Sensitive Cities Australia. URL: <https://wscaustralia.org.au/> (accessed 18/04/2024).

49. Chen Y.-C., Chen Z.-A. Water retention capacity and runoff peak flow duration of the urban food garden: A city-based model and field experiment. *Ecological Engineering*. 2021. Вип. 159. С. 106073. DOI:10.1016/j.ecoleng.2020.106073.

50. Putri F. K., Hidayah E., Ma'ruf M. F. Enhancing stormwater management with low impact development (LID): a review of the rain barrel, bioretention, and permeable pavement applicability in Indonesia. *Water Science & Technology*. 2023. Вип. 87, № 9. С. 2345–2361. DOI:10.2166/wst.2023.095.

51. Ossai I. C., Ahmed A., Hassan A. та ін. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*. 2020. Вип. 17. С. 100526. DOI:10.1016/j.eti.2019.100526.

52. Землянка нашої мрії - Останні та актуальні новини України та світу, новини дня онлайн - Україна Молода. URL: https://umoloda.kyiv.ua/number/2555/208/90236/#google_vignette (accessed 25/07/2024).

53. Кравченко М.В., Ткаченко Т.М., Мілейковський В.О. Дослідження впливу основних параметрів дощового саду на його гідрологічні показники методом моделювання. 2024. Issue 1. Р. 166–176. DOI [https://doi.org/10.15589/znp2024.1\(494\).23](https://doi.org/10.15589/znp2024.1(494).23).

54. Zhang S., Jing X., Yue T. та ін. Performance assessment of rainwater harvesting systems: Influence of operating algorithm, length and temporal scale of rainfall time series. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Вип. 253. С. 120044. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.120044.

55. Pala G. K., Pathivada A. P., Velugoti S. J. H. та ін. Rainwater harvesting - A review on conservation, creation & cost-effectiveness. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Вип. 45. С. 6567–6571. DOI:10.1016/j.matpr.2020.11.593.

56. Ali S., Zhang S., Yue T. Environmental and economic assessment of rainwater harvesting systems under five climatic conditions of Pakistan. *Journal of*

Cleaner Production. Вип. 259, 06.2020. С. 120829.
DOI:10.1016/j.jclepro.2020.120829.

57. SINTEF Open: Review of stormwater management practices. URL: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2447971> (accessed 26/03/2024).

58. Goh X., Radhakrishnan M., Zevenbergen C. та ін. Effectiveness of Runoff Control Legislation and Active, Beautiful, Clean (ABC) Waters Design Features in Singapore. *Water*. 2017. Вип. 9, № 8. С. 627. DOI:10.3390/w9080627

59. Внутрішні води та водні ресурси України: Внутрішні води та водні ресурси України. URL: <http://zno.academia.in.ua/mod/book/view.php?id=2439> (accessed 20.11.2024).

60. Тарифи на водопостачання та водовідведення. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/water/> (accessed 13.11.2024).

61. Bus A., Szelałowska A. Green Water from Green Roofs—The Ecological and Economic Effects. *Sustainability*. 2021. Вип. 13, № 4. С. 2403. DOI:10.3390/su13042403.

62. Tkachenko T. M., Mileikovskyi V. O., Kravchenko M. V. Impact of «green» roofs on rainwater management: review of scientific research and perspectives of use. *Environmental safety and natural resources*. 2023. Vol. 46, Issue 2. P. 35–53. DOI:10.32347/2411-4049.2023.2.35-53.

63. Кравченко М. В. Науково-технологічні основи використання зелених Конструкцій для ефективного управління дощовими стоками в урбанізованому середовищі: дис. ... док. тех. наук: 21.06.01. Київ, 2024. 405 с.

64. Yu Hanfeng. Sponge city theories and applications: A study of the landscape planning in leinefelde-worbis. Hochschule Neubrandenburg, 2019. 138 p.

65. Wallover G. G. (2015) *Bioretention Cells: A Guide for Your Residents*. Available from: <https://hgic.clemson.edu/factsheet/bioretention-cells-a-guide-for-your-residents/> (Accessed 17 Sep. 2024.)