

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ГЛУЩЕНКО РОМАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 625.748.5+625.77+628.132

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ДОЩОВОЇ КАНАЛІЗАЦІЇ ЗА**  
**ДОПОМОГОЮ «ЗЕЛЕНИХ» КОНСТРУКЦІЙ**

Спеціальність 101 – екологія

Галузь знань 10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії вперше

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

\_\_\_\_\_ Р.О. Глущенко

Науковий керівник: Ткаченко Тетяна Миколаївна, д.т.н., професор

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	5
ВСТУП .....	15
РОЗДІЛ 1. Огляд існуючих технологій та систем «зеленого» будівництва .....	21
1.1. Формування принципів «зеленого» будівництва .....	21
1.2. Водостічний плантатор .....	26
1.3. Накопичувальний (акумулюючий) бак для дощової води .....	28
1.4. Дощові сади .....	29
1.5. «Зелені» фасади та плантаторні бокси .....	32
1.6. Рослинні свали/біосмуги/канави .....	38
1.7. Проникні тротуари .....	40
1.8. «Зелені» вулиці та алеї .....	43
1.9. «Зелені» місця для паркування .....	47
1.10. «Зелені» покрівлі .....	50
1.11. Стандарти «зеленого» будівництва .....	53
1.12. Впровадження «зелених» конструкцій в Україні .....	55
Висновки до розділу 1 .....	57
РОЗДІЛ 2. ЗМЕНШЕННЯ ОБ'ЄМУ ДОЩОВИХ СТОКІВ НА КОНСТРУКЦІЯХ ПОКРІВЕЛЬ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ .....	59
2.1. Концепція природного управління дощовими стоками на урбанізованих територіях .....	59
2.2. Зменшення об'єму дощових стоків на конструкціях покрівель та їх використання .....	62
2.3. Експериментальне оцінювання роботи систем «зеленої» покрівлі. ...	64
2.4. Якісні(хімічні) та кількісні показники дощової води після проходження через «зелену» покрівлю громадської будівлі на території житлового комплексу Києва. ....	69
Висновки до розділу 2 .....	74

РОЗДІЛ 3. ЗМЕНШЕННЯ ОБ’ЄМУ ДОЩОВИХ СТОКІВ НА КОНСТРУКЦІЯХ ДОРІГ.....	75
3.1. Розроблення інноваційної системи зеленого каналу .....	75
3.2. Дослідження роботи «зеленого» каналу шляхом експерименту та екстраполяції (практичний) .....	83
3.3. Розрахунок роботи «зеленого» каналу на прикладі Повітрофлотського проспекту в Києві.....	88
3.4. Розрахунок утриманого поверхневого стоку на поверхні паркувальних ділянок міста Києва за допомогою паркувальної «зеленої» бруківки. .	94
3.5. Розрахунок доцільності заміни асфальтного полотна на «зелену» бруківку для парковки приватного об’єкту .....	98
Висновки до розділу 3 .....	101
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ НА ПРИКЛАДІ ПОКРІВЛІ КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ ТА ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ .....	103
4.1. Кліматичні особливості міста будівництва.....	103
4.2. Розроблення «зеленої» покрівлі з функцією водоутримання та повторного використання води .....	105
4.3. Розрахунок та проєкт акумулюючих баків для накопичення дощових опадів.....	111
Висновки до розділу 4 .....	117
ВИСНОВКИ.....	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	121
ДОДАТОК А. Список опублікованих праць за темою дисертації .....	133
ДОДАТОК Б:	
Лист підтримки результатів роботи у компанію «КАН БУД».....	136
Лист підтримки результатів роботи в ШЕУ Солом’янського району м.Києва .....	137
Протокол щодо апробації результатів роботи в учбовий процес Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ, Україна). .	138

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

ЗД	«зелений» дах
К2	система дощової каналізації
В10	система поливального водопроводу
ЦГО	Центральна геофізична обсерваторія
КС	Метод кривої стоку
МГМШ	Метод гідрології малого шторму

## АНОТАЦІЯ

*Глуценко Р.О.* Удосконалення системи дощової каналізації за допомогою «зелених» конструкцій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія. – Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, Київ, 2023.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню задачі запобігання затоплень міських територій з використанням технології «зелених» конструкцій, що є вкрай актуальним в умовах сьогодення для України та світу, зокрема для повоєнної відбудови інфраструктури та будівельних об'єктів.

Аналіз літературних джерел показав, що «зелені конструкції» є перспективною технологією управління дощовими стоками. Зелені дахи здатні захоплювати та затримувати дощову воду, що потрапляє на будинок. Її можна збирати в накопичувальні баки для повторного використання. Необхідно провести дослідження цієї води для визначення її сфери застосування.

Воду з ґрунту та доріжок можуть збирати дощові сади – спеціально облаштовані ділянки ґрунту. Також важливим елементом є водопроникні тротуари та «зелені» місця для паркування. Залишається невирішеним для кліматичних умов України збирання й видалення дощових вод безпосередньо з проїзних частин.

Ефективним рішенням є зелені вулиці та алеї, що поєднують більше ніж одну функцію для збору та очищення дощової води. Зелені вулиці та алеї створюються шляхом інтеграції елементів зеленої інфраструктури в їх дизайн для утримання, зберігання та фільтрації дощової води. Проникний тротуар, біопокриття й дерева є елементами, які можна вплести в дизайн зеленої вулиці чи алеї

На підставі проведеного аналізу створено концепцію природного управління дощовими стоками на урбанізованих територіях. Концепція визначає місце кожного елемента, що бере участь у збиранні та затриманні дощової води.

Для ефективного зменшення потоків дощової води досліджено три моделі «зеленої покрівлі» ZinCo різних систем. «Седумний килим» Florafrain FD25, «Запашні трави» Florafrain FD40 та «Сад на даху» Florafrain FD60 площею 1 м<sup>2</sup>. Перша модель показала найшвидше пропускання води – 1,63 дм<sup>3</sup>/добу. Друга модель найкраще затримує воду – 0,62 дм<sup>3</sup>/добу. Тому вона рекомендується для управління дощовими водами.

Для повторного використання дощових стоків з «зеленої» покрівлі виконано натурні дослідження стоків з зеленої та неозеленої покрівлі житлового комплексу «Республіка». За всіма показниками вода з «зеленої покрівлі» відповідає стандартам для питної води.

Для безпосереднього швидкого і рівномірного збирання дощової води з проїхних частин доріг з подальшим її очищенням розроблено інноваційну систему зеленого каналу. Його шари – паркувальна решітка ФЕМ, щебенево-піщана суміш (ЩПС) фракції 0-5 мм, пісок дрібнозернистий природний  $\rho = 1,63 \text{ т/м}^3$ , щебінь фракції 10-20 мм, труба ПВХ дренажна перфорована  $\varnothing 100-200$ . Експериментальні дослідження каналу виконано шляхом проливання системи водою з розрахунку 8 дм<sup>3</sup> на погонний метр. При виливанні води за 10 с рівень води досяг лише 30 мм. Досліди показали, що ці 8 дм<sup>3</sup> води на погонний метр канал пропускає за 4 хв. При режимі опадів м. Києва за 2021-2022 р. показник ефективності каналу становить 2,7...4,33. Для Повітрофлотського проспекту м. Києва об'єм дощу 1,28 мм/хв буде поглинуто каналами з обох боків проїхних частини менше ніж за 39 с.

«Зелені» місця для паркування мають значний потенціал поглинання дощової води, а крім того, зниження температури – боротьби з ефектом теплового острова. Загальна площа офіційно визнаних місць для паркування Києва сягає 215 925 м<sup>2</sup>. Загальне поглинання води цими паркомісцями становить 6677 м<sup>3</sup> дощової води, яка на сьогодні навантажує міську зливову каналізацію.

Практичне застосування розроблених рішень показано на прикладі проєкту «зеленої» покрівлі площею 350 м<sup>2</sup> на головному корпусі Київського національного університету будівництва і архітектури. Було проаналізуємо

кількість опадів в м. Київ за 2022 р. Максимальний об'єм опадів у теплий період року 63,1 мм у вересні. Прийнято систему «Запашні трави» від компанії Zin-Co зі спеціально підібраним для цього набору рослин, вологоутримувальними матами і дренажними елементами типу Floradrain® FD40. Площі зелених зон 250 м<sup>2</sup>, що утримують воду, та площі пішохідних зон 100 м<sup>2</sup> з водопрпусним покриттям, звідки вода відводиться.

При максимальній зливі за відсутності накопичення води 10 % її не буде утримано і потрапить у дощову каналізацію. Пропонується два варіанти: створити оборотне понаднормове поливання. При цьому вода знову проходить субстрат і корені рослин, що має очистити її від мікроорганізмів і утворених хімічних забруднювачів і продовжить строк зберігання в баку. Це потребуватиме насосів.

Іншою стратегією є використання води для туалетів на нижчих поверхах, що дозволяє скористатися гідростатичним тиском для самоплину. Два унітази спорожнюють бак за 10,4 доби. Оскільки строк зберігання води в баку без погіршення її якості становить 14 діб, таке рішення є обґрунтованим.

Також практичне застосування результатів досліджень показано на прикладі проєкт з встановленням акумулюючих баків для накопичення дощової води з покрівлі у приміщеннях підвального поверху багатоквартирного будинку в житловому комплексі «ФАЙНА ТАУН» в Києві з метою переведення поливального водопроводу на вторинне джерело – стічні води з «зеленої» покрівлі.

Проаналізовано показники водолічильних вузлів системи поливу житлового комплексу «ФАЙНА ТАУН» в м. Київ за період 04.2022р. до 09.2022р. та порівняно з кількістю опадів за аналогічний період для розрахунку об'єму та кількості накопичувальних баків (акумулюючих резервуарів) які необхідні для покриття потреб у воді системи.

Показано, що на першу чергу будівництва загальною площею покрівлі 4208 м<sup>2</sup> достатньо встановити 8 баків по 6 м<sup>3</sup>. Розроблено систему поливального водопроводу з живленням від накопичувальних баків та центрального

водопостачання з пріоритетом за баками.

Порівняння з показами лічильника показало можливість заощадити до 90 %, витрат на використання централізованого водопостачання.

Ключові слова: дощовий стік, зелена конструкція, зелена покрівля, зелене місце для паркування, водопрпускне покриття, проїзжа частина, зелений канал, накопичувальний бак.

## ABSTRACT

Hlushchenko R.O. Improvement of the rainwater drainage system using "green" structures. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript.

Thesis for obtaining the degree of Philosophy Doctor in the specialty 21.06.01 - environmental safety (101 - Ecology). - Kyiv National University of Construction and Architecture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2023.

The dissertation is dedicated to solve the problem of preventing flooding of urban areas using the technology of "green" structures, which is extremely relevant in today's conditions for Ukraine and the world, in particular for the post-war reconstruction of infrastructure and construction objects.

The analysis of literary sources showed that "green constructions" are a promising technology for rainwater management. Green roofs are able to capture and retain rainwater that falls on the house. It can be collected in storage tanks for reuse. It is necessary to conduct a study of this water to determine its scope of application.

Water from the soil and paths can be collected by rain gardens – specially arranged areas of the soil. Water-permeable pavements and "green" parking spaces are also important elements. The collection and removal of rainwater directly from roadways remains unresolved for the climatic conditions of Ukraine.

An effective solution is green streets and alleys that combine more than one function to collect and purify rainwater. Green streets and avenues are created by integrating elements of green infrastructure into their design to capture, store and filter rainwater. Permeable pavement, bio-cover and trees are elements that can be woven into the design of a green street or alley



On the basis of the conducted analysis, the concept of natural management of rainwater run-off in urbanized areas was created. The concept defines the location of each element involved in the collection and retention of rainwater.

In order to effectively reduce rainwater flows, three models of ZinCo "green roof" of different systems were investigated. "Sedum Carpet" Florafrain FD25, "Scented Herbs" Florafrain FD40 and "Roof Garden" Florafrain FD60 with an area of 1 m<sup>2</sup>. The first model showed the fastest water flow – 1.63 dm<sup>3</sup>/day. The second model retains water the best – 0.62 dm<sup>3</sup>/day. Therefore, it is recommended for rainwater management.

For the reuse of rainwater run-off from the "green" roof, field studies of run-off from the green and ungreened roofs of the residential complex "Respublika" were performed. By all indicators, the water from the "green roof" meets the standards for drinking water.

An innovative system of the green channel has been developed for direct, fast and uniform collection of rainwater from roadways with subsequent cleaning. Its layers are a FEM parking grid, crushed stone-sand mixture fraction 0-5 mm, fine-grained natural sand  $\rho = 1.63 \text{ t/m}^3$ , crushed stone fraction 10-20 mm, perforated PVC drainage pipe  $\varnothing 100-200$ . Experimental studies of the channel were performed by pouring the system with water at the rate of 8 dm<sup>3</sup> per linear meter. When pouring water in 10 seconds, the water level reached only 30 mm. Experiments have shown that the channel passes these 8 dm<sup>3</sup> of water per linear meter in 4 minutes. With the rainfall regime of the city of Kyiv for 2021-2022, the efficiency index of the channel is 2.7...4.33. For Povitroflotskiy Avenue in Kyiv, a volume of rain of 1.28 mm/min will be absorbed by channels on both sides of the roadway in less than 39 seconds.

"Green" parking spaces have a significant potential for absorbing rainwater, and in addition, reducing the temperature – combating the heat island effect. The total area of officially recognized parking spaces in Kyiv reaches 215 925 m<sup>2</sup>. The total absorption of water by these parking spaces is 6,677 m<sup>3</sup> of rainwater, which currently loads the city's storm sewerage.

The practical application of the developed solutions is shown on the example of

the "green" roof project with an area of 350 m<sup>2</sup> on the main building of the Kyiv National University of Construction and Architecture. We analysed the amount of precipitation in the city of Kyiv for 2022. The maximum amount of precipitation in the warm period of the year is 63.1 mm in September. The "Fragrant Herbs" system by the Zin-Co company was adopted with a specially selected set of plants, moisture-retaining mats and drainage elements Floradrain® FD40. Areas of green zones of 250 m<sup>2</sup>, which retain water, and areas of pedestrian areas of 100 m<sup>2</sup> with a permeable coating, from where water is diverted.

At maximum rainfall, in the absence of water accumulation, 10 % of it will not be retained and will enter the storm sewerage. Two options are offered: create reversible overtime watering. At the same time, the water will again pass through the substrate and plant roots, which should clean it of microorganisms and formed chemical pollutants and extend the storage period in the tank. This will require pumps.

Another strategy is to use water for toilets on lower floors, which allows taking advantage of hydrostatic pressure for self-flow. Two toilets empty the tank in 10.4 days. Since the term of storage of water in the tank without deterioration of its quality is 14 days, such a decision is justified.

Also, the practical application of the research results is shown on the example of a project with the installation of storage tanks for the accumulation of rainwater from the roof in the basement of an apartment building in the "Faina Taun" residential complex in Kyiv with the aim of transferring the irrigation water supply to a secondary source – wastewater from the "green" roof .

The indicators of the water metering units of the irrigation system of the residential complex "Faina Taun" in Kyiv for the period from April until September 2022 were analysed and compared with the amount of precipitation for the same period to calculate the volume and number of storage tanks that are necessary to cover the water needs of the system.

It is shown that for the first stage of construction with a total roof area of 4208 m<sup>2</sup>, it's enough to install 8 tanks of 6 m<sup>3</sup>. A system of irrigation water supply with power from storage tanks and central water supply with priority by tanks has been

developed.

A comparison with the readings of the meter showed the possibility of saving up to 90 % of the costs of using centralized water supply.

Keywords: rainwater run-off, green structure, green roof, green parking space, permeable pavement, carriageway, green channel, storage tank.

### Список публікацій здобувача:

#### *Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Глущенко Р., Ткаченко Т. Збереження, якість та використання дощової води після «зеленої» покрівлі. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – Вип. 42, К.: КНУБА, 2023. – С. 4-12. **(Фахове видання)**

*Особистий внесок здобувача полягає у зборі проб дощової води для хімічного аналізу в лабораторії; формування пропозиції щодо встановлення та розрахунку накопичувальних баків для дощової води у житловому будинку.*

2. Hlushchenko R., Tkachenko T., Mileikovskiy V., Kravets V., Tkachenko O. Green structures for effective rainwater management on roads. Production Engineering Archives. 2022. Vol. 28. Iss. 4. P. 295–299. ISSN 2353-5156, 2353-7779 **(SCOPUS Q2, WoS)**

*Особистий внесок здобувача полягає у формуванні концепції відведення надлишку дощових вод з автошляхів.*

3. Глущенко Р. О., Ткаченко Т. М., Мілейковський В. О. Ефективне відведення дощової води з доріг Дощовими садами-смугами у концепції міста-губки. Екологічна безпека та природокористування. –Вип.40. - К.:КНУБА, 2021. – С. 48-61. **(Фахове видання)**

*Особистий внесок здобувача полягає у виявленні етапів виникнення об'ємів дощового стоку та шляхи їх розподілу.*

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

4. Tkachenko T., Voloshkina O., Mileikovskiy V., Sipakov R., Hlushchenko R., Tkachenko O. Using Rain-Garden Bands for Rainwater Drainage from Roads. World Environmental and Water Resources Congress 2023. Reston: ASCE, 2023, P. 1207-1214 (*SCOPUS*)

*Особистий внесок здобувача полягає у розробленні технічного рішення для збору дощової води з багаторівневих доріг.*

5. Ткаченко Т. М. Глущенко Р. О. Зелені покрівлі на поверхнях бетонних мегаполісів. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2023, С. 66-69.

*Особистий внесок здобувача полягає у розрахунку об'єму дощового стоку на поверхні даху з системою «зеленої» покрівлі.*

6. Ткаченко Т., Мілейковський В., Глущенко Р. Наслідки підриву Каховської ГЕС та їхня компенсація методами зеленого будівництва. Екотехногенні наслідки руйнування гідротехнічних споруд. Прогнози та перспективи відновлення: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції 20 червня 2023 р. – Київ: КНУБА, 2023. – С. 9-11.

*Особистий внесок здобувача полягає у розробці проекту «зеленої» покрівлі для навчального корпусу КНУБА.*

7. Глущенко Р. О., Ткаченко Т. М. Можливості використання дощової води після фільтрації зеленими покрівлями. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний конгрес, 12-14 жовтня 2022, Україна, Львів: Збірник матеріалів — Київ: Ярошенко Я. В., 2022. — С.98.

*Особистий внесок здобувача полягає у дослідженні показників хімічного складу дощової води після системи «зеленої» покрівлі та подальше її вторинне використання.*

8. Ткаченко Т., Мілейковський В., Глущенко Р., Ткаченко О. "Зелені конструкції" – перспективна біотехнологія післявоєнного відновлення

будівель. Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, ресурси, енергія», Київ, 23-25 листопада 2022 р. Робоча програма та тези доповідей. Київ, 2022. С. 12-13.

*Особистий внесок здобувача полягає у визначенні місця «зелених» конструкцій у системі «зеленого» будівництва.*

9. Tkachenko T., Hlushchenko R., Mileikovskiy V., Ujma A. Effective drainage of rainwater from roads by rain gardens-strips in the concept of the city-sponge. II Міжнародна науково-практична конференція «Екологія. Ресурси. Енергія», 24-26 листопада 2021 р. – К.: КНУБА. – С. 41-42.

*Особистий внесок здобувача полягає у виявленні етапів виникнення об'ємів дощового стоку та шляхи їх розподілу.*

10. Глущенко Р. О., Ткаченко Т. М. Зелені технології для регулювання дощових стоків. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей I Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 15 березня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. – С. 51-53.

*Особистий внесок здобувача полягає у обґрунтуванні проблеми затоплень міст та напрямки щодо їх вирішення за допомогою «зелених» конструкцій.*

11. Hlushchenko R. O., Tkachenko T. M. "Green" technologies as an element of the sustainable development system. Тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні», 21-22 травня 2020 року, Харків: ХНУБА. 2020. С. 12-14.

*Особистий внесок здобувача полягає у обґрунтуванні місця «зелених» конструкцій в концепції сталого розвитку.*

12. Ткаченко Т. М., Глущенко Р. О. Регулювання дощових стічних вод за допомогою зелених конструкцій. Зелене будівництво: Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції. – Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2019. – С.46-47.

*Особистий внесок здобувача полягає у пропонуванні методів регулювання дощових стічних вод за допомогою «зелених» конструкцій.*

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Затоплення вулиць у містах часто спостерігається не тільки в Україні, а й у багатьох інших країнах світу. Причинами є застарілі мережі дощової каналізації; невідповідність чинних норм поточним кліматичним змінам у частині опадів та адаптації систем до нових кліматичних умов; стрімке розростання міст, що призводить до скорочення площ зелених зон і збільшення площі бетонних та асфальтових покриттів; висока вартість і тривалість реконструкції дощової (зливової) каналізації К2 під сучасні обсяги опадів; несвоєчасне та недостатнє очищення мереж від засмічення; повільне прийняття рішень і відсутність політики або стратегії на рівні міст/районів щодо вирішення даного питання; неправильний підхід до інфраструктури, який не враховує сучасні обсяги опадів і передбачає стік води лише на проїзну частину та в дощову каналізацію з ігноруванням природних рішень – різних типів озеленення; надвисоке навантаження на систему.

Вирішити ці проблеми неможливо тільки класичними інженерними методами. Великою перевагою «зелених конструкцій» є можливість розвантаження дощової каналізації завдяки накопиченню вологи або уповільненню швидкості її потрапляння у зливи.

Наприклад, Американське агентство з охорони навколишнього середовища запроваджує «зелені» інфраструктури, які мають комплексну цінність та потенціал. Збільшення площ рослинного озеленення зменшує загальний стік, а покращення якості повітря відбувається за рахунок очищувальних властивостей рослин і секвестрації вуглекислого газу.

Таким чином, «зелені» технології поступово стають невід'ємною складовою частиною проєктів зеленого будівництва, допомагаючи вирішувати економічні, екологічні та соціальні проблеми. Вирішення проблем сталого дизайну є дуже важливим у будівництві. Різними дослідниками зазначено, що сталий дизайн у будівництві є дуже динамічним. Більшість розвинених країн, таких як США, Китай та Великобританія, швидко використовують перспективи

та можливості впровадження «зелених» технологій. Хоча витрати на певні екологічні технології можуть бути надто високими спочатку при впровадженні, врешті-решт встановлений прибуток перевищуватиме затрати.

Стрімке впровадження «зелених» технологій у будівельну галузь почалося з 1990-х років ХХ століття. Сьогодні сфера «зелених» технологій - це швидке вдосконалення та важливі рішення в будівельній галузі, завдяки яким відбувається серйозний перехід до ефективного впровадження будівельного проєкту, зумовленого екологічною діяльністю. «Зелені» технології – це не тільки застосування рослин та створення інвайронментального контакту з довкіллям. Як правило, «зелені» технології враховують тимчасовий або тривалий вплив інновацій на навколишнє середовище. «Зелені» технології в будівництві охоплюють будівництво інноваційних будівель, які інтегрують з додатковими аспектами екологічно чистих рішень у будівельних проєктах.

До «зелених» технологій відносяться й «зелені» конструкції, під якими ми розуміємо поєднання неживих архітектурних конструкцій з живими рослинами. Це «зелені» покрівлі, вертикальне озеленення, фасадні зелені блоки, озеленення схилів, «зелені» місця для паркування, дощові сади, придорожні «зелені» дощові сади-смуги тощо.

Завдяки застосуванню горизонтальних та вертикальних типів «зелених» конструкцій разом з природним ландшафтним озелененням, можливе ефективне управління дощовими стічними водами та удосконалення системи дощової каналізації.

У багатьох розвинених країнах ефективно управління стічними водами практикується в структурах автомобільних доріг.

Таким чином, вирішення задачі запобігання затоплень міських територій з використанням технологій «зелених» конструкцій є вкрай актуальним в умовах сьогодення для України та світу, зокрема для повоєнної відбудови інфраструктури та будівельних об'єктів

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**  
Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі технологій захисту



навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури відповідно до Указу Президента України №722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» в рамках науково-дослідних робіт «Управління дощовими стічними водами з використанням «зелених» конструкцій» (державний реєстраційний № 0120U101145, 2021 р.) та «Створення перспективних технологій формування безпечного середовища будівель поєднанням "зелених конструкцій", фітодизайну та інженерних систем» (державний реєстраційний № 0122U01197, 2022 р.)

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є запобігання затоплень урбанізованих територій за допомогою науково обґрунтованого застосування «зелених» конструкцій.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі *завдання*:

- на підставі аналізу наявних технологій «зеленого будівництва» визначити можливості уникнення затоплень урбанізованих територій;
- дослідити швидкість поглинання дощової води, хімічний склад стічних вод з «зеленої покрівлі» та обґрунтувати можливості їхнього накопичення й використання для потреб будівлі;
- розробити та експериментально дослідити зелений канал для ефективного і швидкого поглинання та відведення дощових вод з автошляхів
- розробити практичні рекомендації щодо впровадження зелених покрівель задля затримання і повторного використання дощових вод на прикладі покрівлі Київського національного університету будівництва і архітектури.

*Об'єкт досліджень* – затоплення міських територій дощовими стічними водами та їх відведення.

*Предмет досліджень* – «зелені» конструкції як елементи будівель і споруд для покращення ефективності збору та відведення поверхневого стоку.

*Методи досліджень.* Статистична обробка даних, спостереження та моніторинг експериментальних моделей, статистичний аналіз даних, практичні збори зразків для лабораторних досліджень.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Вперше досліджено в лабораторних умовах процесі поглинання дощових вод в інноваційному «зеленому» дренажному каналі, що дозволило отримати залежності для розрахунку та підбору каналу, віднесеної до ширини проїзної частини.
2. Вдосконалено фізичну концептуальну модель надходжень і поглинання дощових опадів на просторових об'єктах будівництва, що дозволило створити трирівневу систему управління дощовим водами на основі загальної концепції управління дощовим стоком за допомогою «зелених» конструкцій.
3. Набуло подальшого розвитку порівняльні експериментальні дослідження швидкості поглинання дощової води різними системами «зелених» покрівель задля обґрунтування вибору системи для різних об'єктів і кліматичних умов.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

Вирішено нагальну задачу запобігання затоплень міських територій шляхом застосування «зелених» конструкцій.

Розроблено інноваційний «зелений» дренажний канал для поглинання і фільтрування дощового стоку з автошляхів, встановлюючи його в конструкції дорожнього полотна вздовж бордюрного каменю. Цей канал швидко і рівномірно поглинає, фільтрує та відводить дощові води, покриваючи значення максимальної інтенсивності дощу 1,28 мм/хв. при залповій зливі. Запропоновано технічне рішення – проникні поверхні («зелена» бруківка), для зменшення навантаження на мережу дощової каналізації К2 на  $k=52,48\%$ , що показано на прикладі приватного об'єкту. Доцільність отриманих результатів підтверджено проектами «зеленої» покрівлі типу Floradrain FD40, з водонасичуванням  $W_m=68\text{дм}^3/\text{м}^2$  і швидкістю просочування  $V=0,62\text{дм}^3/\text{добу}$  для навчального корпусу КНУБА та системи накопичення дощової води з покрівлі в

акумулюючих (накопичувальних) баках для системи поливу В10, з економією централізованих водних ресурсів  $E=86,6\%$ .

Результати роботи апробовано в ТОВ «КАНБУД», КК КМДА «Київатордор» та в КНУБА, що дозволяє ефективно керувати дощовими водами.

**Особистий внесок здобувача** полягає в аналізі стану проблеми, формуванні й розробленні ідеї і теми дисертації, наукових положень концепції застосування «зелених конструкцій» в галузі будівництва, формулюванні мети роботи, розробленні алгоритмів розрахунків, установленні теоретичних залежностей, створенні експериментальної установки для проведення лабораторних досліджень шару зеленої покрівлі, участі у постановці та проведенні натурних та лабораторних експериментів, в аналізі та узагальненні результатів, формулюванні новизни, висновків та основних положень роботи, які виносяться на захист.

Особистий внесок здобувача у наукові роботи, написані у співавторстві, наведено в додатку А.

#### **Апробація результатів дисертації.**

Основні положення і результати дисертаційної роботи були представлені та обговорені на міжнародних конференціях: Міжнародній науково-практичній конференції «Зелене будівництво» (Київ, 2019, 2023), Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Ресурси. Енергія» (Київ, 2021, 2022), I Міжнародній науково-практичній онлайн-конференції «Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України» (Київ, 2021); IV міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні» (Харків, 2020), VII Міжнародному конгресі «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування.» (Львів, 2022), Міжнародній науково-практичній конференції «Екотехногенні наслідки руйнування гідротехнічних споруд. Прогнози та перспективи відновлення» (Київ, 2023), International Forum on Climate Change and Sustainable Development: New Challenges of the Century (Mykolaiv, 2021), The 2<sup>nd</sup> JESSD Symposium (School of Environmental Science,

Universitas Indonesia), Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym (Czestochowa, Poland, **2019**), World Environmental and Water Resources Congress (Henderson, USA, **2023**)

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 12 наукових робіт. З них 2 – у наукових фахових виданнях, 2 статті – у наукометричній базі «SCOPUS» та 8 тез доповідей у наукових конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів та висновків до них, загальних висновків, списку використаних джерел з найменувань, додатків; містить зображення і таблиці. Загальний обсяг роботи становить сторінок основного тексту.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ «ЗЕЛЕНОГО» БУДІВНИЦТВА

#### 1.1. Формування принципів «зеленого» будівництва

Проблеми сьогодення пов'язані з багатьма напрямками людського життя, одна із них це зростання населення в містах по всьому світу, що в свою чергу впливає на якість самого проживання у ньому. Безперестанний процес будівництва та спорудження знаходиться у тісному зв'язку з природою людини та супроводжується раціональними концепціями енергоефективності та сталого розвитку. Але і тут виникають труднощі з дотриманням балансу між людиною та бетонно-залізними джунглями. Світ так швидко мчить до створення чогось нового що забуває про цей самий баланс, а саме щільність бетону та заліза зростає залишаючи природні середовища які так потребують люди все більше й більше – осторонь. Таким чином, впливають на людину у більшій степені негативно аніж позитивно. А зберігаючи та поєднуючи природу та штучне – виграють усі.

У більшості випадків міста розростаються з неймовірною швидкістю, що робили з початку технологічної революції, а сьогодні людство зіткнулося з проблемою коли виникає потреба у новому, і це нове займає місце природного а не руйнування старого. На це впливають багато чинників такі як вартість земляної ділянки, політичні та бюрократичні фактори, націленість людей максимально наближено до центру міста. Тому жертвують та зменшують зелені зони, парки, лісосмуги, рекреаційні зони які вкрай важливі для людини. Необхідно переходити до концепції поєднання «зеленого» з бетоном та залізом. Адже якщо це не робити, результат стає очевидним: бетонні джунглі створюють небажанні чинники такі як: збільшення теплового ефекту який існує в центрі міста та за його межами (різниця температур сягає 10°C; проблеми з якістю повітря через техногенне навантаження; проблеми із водовідведення поверхневого стоку через застаріли шляхи їх відводу; та багато іншого.

Зі збільшенням технічних, природних проблем виливаються соціальні, які вкрай вразливо стосуються людей. Виникає потреба у рішеннях, тому одне з них яке набирає обертів та поширення у застосуванні – це сучасні технології, складовою яких є «зелені конструкції» в будівництві які покликані для рішення фронту проблем.

Будівлі та споруди, в яких ми мешкаємо, працюємо та відпочиваємо, захищають нас від крайнощів природи, але вони також впливають на наше здоров'я та навколишнє середовище незліченною кількістю факторів. Оскільки вплив будівель на навколишнє середовище стає все більш очевидним, нова галузь під назвою «зелене будівництво» набирає обертів.

Концепція зеленого будівництва була вперше представлена в США в 1976 році Вільямом А. Рейлі як «проектування, будівництво та експлуатація будівлі з використанням методів і технологій, які захищатимуть і покращуватимуть навколишнє середовище протягом усього терміну служби будівлі».

«Зелене» будівництво — це підхід, який спрямований на зменшення впливу споруд на навколишнє середовище шляхом розгляду всіх аспектів життєвого циклу проекту від початку до кінця та включення «зелених» принципів проектування. Метою проектування «зелених» споруд є створення сучасних екологічно чистих планів будинків із здоровим внутрішнім середовищем для мешканців, мінімізуючи використання невідновлюваних ресурсів і шкідливі викиди протягом усього терміну служби конструкції.

Концепції «зеленого» будівництва втілюються на всіх рівнях, від окремої будівлі до кварталів або міст. Будівля вважається екологічною, якщо вона спроектована, побудована та експлуатується з використанням підходу, який:

- Мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище;
- Покращує здоров'я мешканців;
- Ефективно використовує ресурси;
- Забезпечує позитивну якість середовища в приміщенні.

Серед екоактивістів, захисників навколишнього середовища та урядів у всьому світі зростає занепокоєння щодо підвищення рівня вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) в атмосфері. Спалювання викопного палива, такого як газ, вугілля та нафта, призвело до підвищення рівня CO<sub>2</sub> і, отже, до глобального потепління, яке може мати катастрофічні наслідки для планети в майбутньому. Спроби зменшити викиди CO<sub>2</sub>, уряди почали ухвалювати закони, спрямовані на те, щоб зробити будівлі більш екологічно чистими, споживаючи менше енергії за рахунок підвищення ефективності та використання відновлюваних джерел енергії. Ці закони змусять навіть існуючі будівлі з часом стати більш ефективними. Це створило сьогодні попит на екологічно чисті споруди, таким чином створивши ринок зелених будівель.

Є два типи зелених будівель, *пасивні та активні*. У пасивних зелених будівлях, екологічна споруда розроблена таким чином, щоб використовувати переваги природних умов, таких як вітер, сонце та дощ. Активні зелені будівлі – це споруди, які використовують технологію для збереження тепла, що виробляється будівлею, і зменшення викидів вуглекислого газу. Ви також можете зустріти Блакитні будівлі або Будівлі з нульовим енергоспоживанням, які використовують відновлювані джерела енергії, такі як сонячні панелі, вітрові турбіни та геотермальну енергію. USGBC поділяє зелені будівлі на три категорії: будівлі, сертифіковані LEED, будівлі Energy Star і природні (або «нульові») чисті будівлі.

Концепція «зеленого» будівництва — це філософія, яка зосереджена на ефективному використанні природних ресурсів і покращенні здоров'я та комфорту мешканців, а також зменшенні загального впливу на навколишнє середовище. «Зелене» будівництво та проектування враховують вплив будівельних матеріалів, будівельних процесів, експлуатації та технічного обслуговування та навіть ділової практики, яка впливає на навколишнє середовище.

У зелених будівлях використовуються різні технології та матеріали, щоб зменшити вплив на навколишнє середовище та/або витрати на енергію. Деякі з цих технологій і матеріалів включають природне освітлення через мансардні вікна або вікна, сонячні батареї на даху конструкції, системи збору дощової води для зменшення споживання води, зменшення відходів завдяки використанню перероблених продуктів і матеріалів тощо... Кожен із цих елементів є революційним у своєму має право і має можливість покращити те, як ми будемо наші будинки.

Зливові стоки залишаються основною причиною забруднення води в містах. Вони переносять сміття, бактерії, важкі метали та інші забруднюючі речовини через зливову каналізацію в місцеві водні шляхи. Сильні зливи можуть спричинити повені, які завдадуть шкоди майну та інфраструктурі.

Історично склалося так, що у більшості випадків використовували «сіру» інфраструктуру — системи жолобів, труб і тунелів — для переміщення зливової води від місця проживання до очисних споруд або прямо до місцевих водойм. Сіра інфраструктура в багатьох регіонах старіє, а її існуюча здатність управляти великими обсягами зливових стоків зменшується в районах по всій країні. Щоб впоратися з цією проблемою, багато громад встановлюють системи зеленої інфраструктури, щоб посилити свою здатність керувати зливовими водами. Завдяки цьому громади стають більш стійкими та отримують екологічні, соціальні та економічні переваги.

В основному зелена інфраструктура фільтрує та поглинає дощову воду там, де вона потрапляє. У 2019 році Конгрес прийняв Закон про покращення водної інфраструктури, який визначає зелену інфраструктуру як «набір заходів, які використовують системи рослин або ґрунту, водопроникне покриття або інші водопроникні поверхні чи субстрати, збір та повторне використання дощової води або озеленення для зберігання, проникнення або випаровувати зливову воду та зменшувати надходження до каналізаційних систем або поверхневих вод».



«Зелена» інфраструктура — це адаптивний і багатофункціональний підхід до управління зливовими водами та кліматичної стійкості з багатьма перевагами для громад:

- Покращує якість води та зберігає водні ресурси;
- Зміцнює місцеву економіку;
- Підвищує стійкість спільноти та інфраструктури;

Розробка та впровадження зеленої інфраструктури також було визначено як найважливіший інструмент для досягнення цілей пріоритетного порядку щодо підвищення стійкості природних ресурсів до зміни клімату. Міська дощова вода продовжує залишатися постійним і зростаючим джерелом забруднення водних ресурсів. Зміна клімату призводить до більш інтенсивних погодних явищ і скорочення запасів води. Громади зараз відчувають наслідки зміни клімату через повені, посухи, хвилі спеки та ерозію берегів. Разом ці умови підкреслюють продуктивність національної водної інфраструктури та спонукають усіх нас розглянути нові комплексні способи управління водними ресурсами.

Міста можуть включати зелену інфраструктуру в багато різних типів проектів, зокрема, коли встановлюють або модифікують інфраструктуру зливової каналізації, коли перебудовують перехрестя або коли планується новий парк.

Зливовий стік - це дощ або талий сніг, який стікає з різних поверхонь та потрапляє в решті решт до річок та озер. Проблеми, пов'язані зі стоком зливових стоків, найбільш помітні в районах, де відбулася урбанізація. Як згадувалося вище, зміна кругообігу води має серйозний вплив на наші водні ресурси. Цей вплив залежить як від кількості, так і від якості зливого стоку, що досягає наших річок і озер.

Вплив зливових стоків добре помітно по всій країні. Вони призводять до затоплення територій, що руйнують не тільки майно людей але і завдає великої шкоди навколишньому природньому середовищу.

Збільшення водонепроникних поверхонь зменшує кількість дощової води, яка може природним чином проникати в ґрунт, і збільшує об'єм і швидкість стоку дощової води (рис.1.1). Ці зміни призводять до більш частих і серйозних повеней і потенційної шкоди для людей.

Приблизний (умовний) річний цикл води для не забудованої ділянки



— Репрезентативний змінений водообіг під водонепроникною автостоянкою



Рисунок 1.1 – Схема розподілу опадів за типом поверхні (водопроникна та водонепроникна поверхня)

## 1.2. Водостічний плантатор

Краще використовувати комплексний підхід для втілення зелених конструкцій в будівельній галузі. Але враховуючи економічні та соціальні фактори, не завжди є можливість комплексного підходу, але існують варіанти для будь-яких потреб та завдань які можна використовувати на практиці.

Керування стоком дощової води необхідно проводити якомога ближче до джерела або походження. Реалізація цього фактору буде відрізнятися залежно від місця та запропонованої розробки. Наприклад, рослини можуть добре працювати в новому проекті, але навряд чи будуть використовуватися як частина модернізації. Надалі розглянемо різновиди систем які створені для боротьби та

нейтралізації поверхневого дощового стоку, зменшення навантаження на стаціонарні системи водовідведення/каналізації міст та мегаполісів.

Дощові опади які надходять, потрапляють на покрівлю споруди, направляючись від покрівельних воронок та дренажних водостічних жолобів які встановлені по фасаду зовні будівель до плантаторів. Плантатори (кашпо) – це декоративні ландшафтні ємності, спеціально розроблені для поглинання та фільтрації дощової води перед тим, як вона потрапить до централізованої каналізаційної системи.

Плантатори заповнені базовим шаром гравію для забезпечення дренажу, ґрунтовою сумішшю, що сприятиме злизовій воді, і локальним багаторічним рослинам. Розміри таких плантаторів можуть бути різними в залежності від конструктивних та дизайнерських особливостей будівлі та прилеглої території, але умовні/приблизні розміри це можуть бути 2'Ш x 2'В x 4'Д і мають приблизний об'єм для зберігання 300л води. Матеріали для кашпо виготовлені з оцинкованих металу або переробленого пластику. Всередині кашпо є фальшиве дно, яке забезпечує більше запасів води знизу та достатньо ґрунту для росту рослин зверху (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Плантатор під'єднаний до водостічних жолобів

Даний тип «зеленої» системи раціонально та більш доцільно встановлювати в побутових умовах, зважаючи на конструктивні обмеження та

розрахункові особливості системи. Але якщо дана система набуде популярності, ефект буде відчутний але недостатній для вирішення більш масштабної проблеми затоплення місцевих вулиць. Щодо економічного фактору цієї системи, коштує вона менше 1% загального місячного бюджету на утримання будівлі та прилеглої території.

### **1.3. Накопичувальний (акумулюючий) бак для дощової води**

Конструкції, призначені для перехоплення та накопичення стоку з дахів, дозволяють повторно використовувати його, зменшуючи об'єм і загальне погіршення якості води. Дощова вода з дахів будинків стікає в підземний резервуар і використовується для поливу садів і технічних потреб паркінгу. Цистерна вміщує 30 000 галонів води (до двох тижнів опадів) і має розміри 10 футів x 15 футів x 15 футів 9 дюймів. Орієнтовна економія при використанні цієї цистерни замість стандартного зрошення становить 1340,3 кубічних футів води на рік. Роботи з технічного обслуговування та пов'язані з цим витрати мінімальні, оскільки цистерна потребує лише періодичного технічного обслуговування насоса, яке за потреби укладається за контрактом [95].

Різноманітність систем варіюється від дощового баку (рис.1.3) на технічному поверсі або біля фасаду будівлі до цистерни комерційних будівель.

- Спеціальні баки збирають дощову воду, яка не містить добавок (таких як фтор, солі та неорганічні іони), які водопровідна вода має за своїми санітарними показниками. З часом ці сполуки накопичуються в ґрунті та потенційно шкодять корінню рослин і мікроорганізмам у ґрунті. До того, використання дощової води для технічних потреб: -поливу газонів; -мийка тротуарів; -використання такої води для живлення фонтанів та інше.
- Дощові баки захищають місцеві водні ресурси, зменшуючи міський стік, через який сміття, моторне масло, залишки автомобільного пального та

інші забруднюючі речовини потрапляють у зливові стоки та проникають у підземні води.

- Дощові баки можуть пом'якшити наслідки від повені під час дощового зимового сезону, зменшити ерозію землі, а також зменшити кількість вологи, яка завдає додаткової шкоди фундаменту будівель та споруд.

Таким чином, можливо зменшити споживання централізованого водопостачання та водночас допомагає керувати зливовими стоками. Щодо хлорування або додавання хімічних сполук для її більшого терміну зберігання в баках не є раціональним з точки зору на кінцевий вплив на навколишнє середовище.



Рисунок 1.3 – Акумуляуючі баки для дощової води

#### 1.4 Дощові сади

Дощові сади (рис.1.4), також відомі як камери біоутримання та біоінфільтрації, являють собою неглибокі западини з рослинністю, які є децентралізованими мікромасштабними заходами контролю для управління дощовою водою. Будучи інженерною спорудою, дощові сади збирають дощову

воду з непроникних поверхонь, таких як дахи, дороги та стоянки. Таким чином, вони можуть допомогти пом'якшити негативні наслідки стоку шляхом збільшення утримуючої здатності водозбірного басейну [49].

Перші дощові сади були розроблені в США в 1990-х роках [75]. У наступні роки дощові сади були створені в інших країнах.

Дослідження проведене [32] показало найбільшою кількістю опадів, отриманих дощовим садом через пряму інфільтрацію (без затримки), був дощ, об'єм якого становив 5,3 мм за 4,25 год, середня інтенсивність опадів становила 1,24 мм/год, а максимальна миттєва інтенсивність опадів дорівнювала 42,10 мм/год.

Це узгоджується з попередніми дослідженнями, проведеними [57].

З іншого боку, [1] показали, що дощові сади можуть підтримувати роботу недостатньої каналізаційної інфраструктури, особливо під час дощів середньої інтенсивності (дорівнює 50 мм/год і тривалістю дорівнює 20 хв.).

Ефективність утримання стоку за весь період моніторингу склала 100 %. Враховуючи площу даху, з якої стоки скидалися в дощовий сад, коефіцієнт стоку 0,95, а також загальну кількість опадів, що випали протягом аналізованого періоду, дощовий сад встиг загальною 4,92 м<sup>3</sup> стоку шляхом прямої інфільтрації та 22,67 м<sup>3</sup> після утримання стоку в саду протягом кількох хвилин під час дощу. Це доводить, що навіть відносно невеликі екологічні інфраструктурні рішення сприяють покращенню локального управління дощовою водою в містах [32].





Рисунок 1.4 – Дощові сади на території ЖК в Києві

Щодо видалення забруднюючих речовин ефективність є більш мінливою і через описані вище об'ємні втрати може вводити в оману, дивлячись на концентрації притоку та витоку. Наприклад, підсумкові дані видалення забруднювачів [25] вказують на позитивне видалення металів, бактерій, загальної кількості завислих речовин і загального азоту, але негативне видалення загального фосфору при вимірюванні за допомогою концентрації. Однак, щоб визначити фактичну продуктивність масового видалення, аналітики повинні включити продуктивність зменшення обсягу, про яку говорилося вище.

Наприклад, у детальній оцінці підмножини видалення забруднювачів [62] показали, що системи біоутримання з нижніми дренажами демонструють статистично значуще видалення загальної кількості завислих речовин, але не загального азоту чи фосфору.

Важливо розпочати більш детальні дослідження та інтеграцію дощових садів в Києві та в Україні в цілому, з моніторингом кількості опадів, рівня води, ефективності та економічної доцільності.

### 1.5 «Зелені» фасади та плантаторні бокси

Такі «зелені конструкції» є привабливим інструментом для фільтрації дощової води, а також для зменшення стоку, який надходить у каналізаційну систему. Такі площі виступають міськими дощовими садами з вертикальними стінками та відкритим або закритим дном. Зазвичай знаходяться в центрі міста, вони збирають і поглинають стоки з вулиць, тротуарів і парковок.

Зелений фасад може сприяти більш природному способу дренажу дощової води. Крім того, він забезпечує затінення, ізоляцію та випаровування (ЕТ) води, що дозволяє зменшити теплове навантаження будівлі (рис.1.5.).

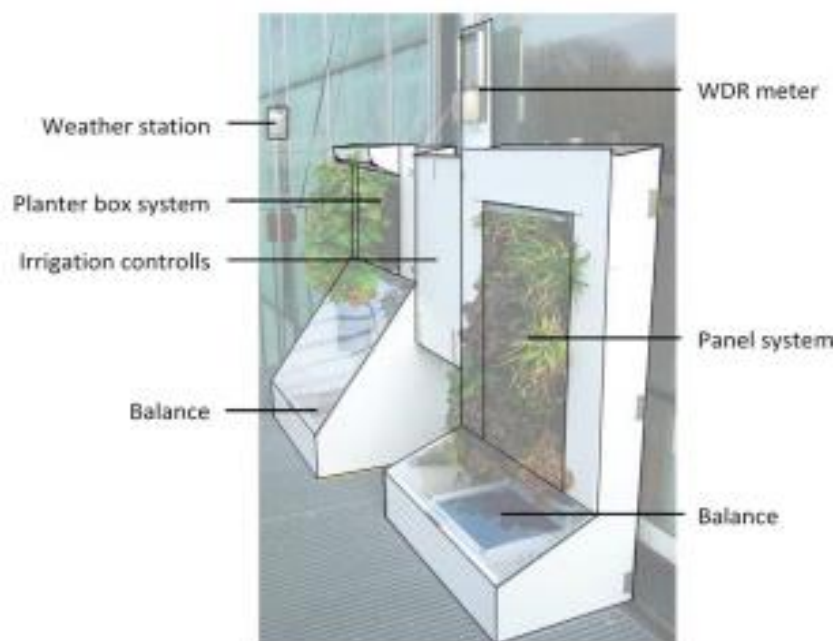


Рисунок 1.5 – Плантатор [74]



Дослідження щодо порівняльних характеристик фасадів та боксів для управління дощовим стоком, проводився [74] збір опадів однієї вертикалі  $m^2$  виражається як еквівалентний відсоток опадів на один горизонтальний  $m^2$  дає в середньому 18,8% і 33,0% відповідно для панелей і ящиків для плантаторів, при цьому поява вітрового дощу не має істотного значення. Загальна розрахункова потужність ET становить  $18 (\pm 3) \text{ кВт/м}^2 / \text{рік}$  та  $11 (\pm 3) \text{ кВт/м}^2 / \text{рік}$  відповідно для панелей і ящиків для плантаторів. Отримані водні баланси вказують на необхідність правильного управління зрошенням протягом року.

Системи «живих» стіни (LWS) доступні в широкому асортименті. Було досліджено дві комерційно доступні системи живих стін (LWS) типу ящика для рослин і панелі (рис.1.6. а і b). Ці системи були обрані через їхню відносно більшу площу відкритої поверхні та об'єм середовища для вирощування порівняно з комбінованою системою та геотекстильною системою (рис.1.6. с і d). Таким чином, за своєю природою вони мають вищий потенціал для збору та буферизації опадів [76].

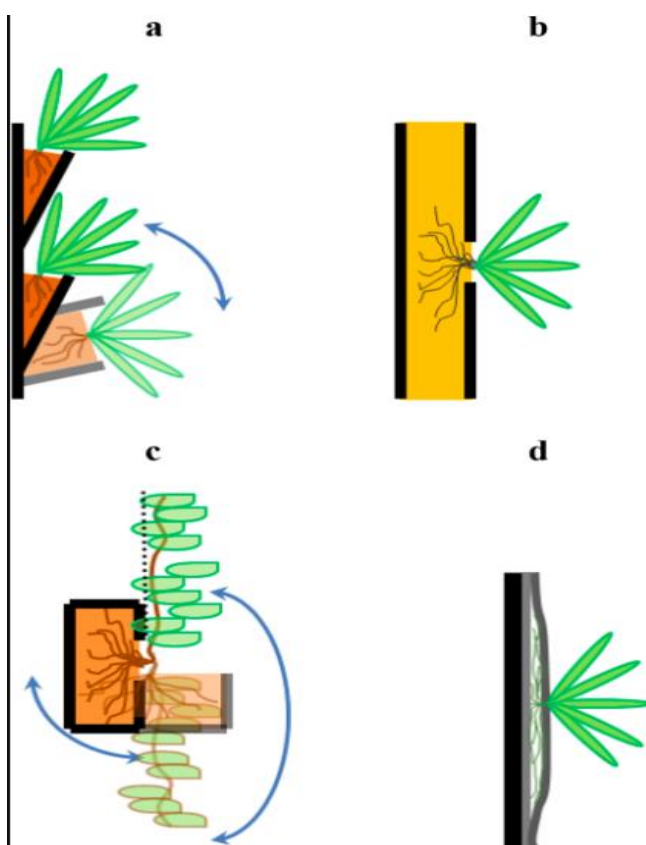


Рисунок 1.6 – Різновиди «живих/зелених» стін [76]

Опади в діапазоні від 0,1 мм до 23,6 мм були зібрані та поглинені панеллю, а також системою ящиків для плантаторів. Було виявлено, що для обох систем буферна ємність перевищена при випаданні опадів більше приблизно 13 мм. Таким чином, буферна ємність використовується найбільш ефективно під час невеликих опадів. Системи не повинні бути спрямовані проти вітру, а опади також не повинні випадати під кутом до систем для збирання. Проте, коробкова система збирає більше опадів під впливом вітру, ніж панельна система зі швидкістю збору відповідно 26,5% і 13,6% від загальної кількості опадів, які випадають на горизонтальний м<sup>2</sup>. Тут горизонтальні поверхні системи ящиків для сівалки дозволяють легше вловлювати та поглинати опади. Крім того, ця система містить субстрат з високою буферною здатністю, внаслідок чого вона потребує незначного зрошення під час дощового періоду [74].

Численні методики доступні для розрахунку обсягів стоку. Метод кривої стоку, описані нижче.

#### - Метод кривої стоку (КС)

Числовий метод кривої стоку [84], є, мабуть, найпоширенішим інструментом для оцінки обсягів стоку. У цьому методі стік розраховується за такою формулою:

$$Q_v = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1.1)$$

де:

$Q$  = об'єм стоку (мм)

$P$  = кількість опадів (мм)

$I_a$  = початкова абстракція (мм)

$S$  = потенційне максимальне утримання після початку стоку (мм)

Початковий водовідбір ( $I_a$ ) включає всі втрати до початку поверхневого стоку: накопичення депресії, перехоплення, випаровування та інфільтрацію.  $I_a$  може бути емпірично наближено для типового землекористування за допомогою:

$$I_a = 0.2S \quad (1.2)$$

Тому рівняння стоку набуває вигляду:

$$Q_v = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (1.3)$$

Нарешті, (S) є функцією ґрунту вододілу та умов покриву, як представлено числом кривої стоку (КС):

$$Q_v = \frac{1000}{КС} - 10 \quad (1.4)$$

Тому стік можна розрахувати, використовуючи лише метод кривої та кількість опадів. Метод кривих визначаються типом ґрунтового покриву, гідрологічними умовами, умовами попереднього стоку (ARC) і гідрологічною групою ґрунтів. Числа кривих для різних ґрунтових покривів на основі середнього ARC для річних повеней і  $I_a = 0,2S$  в різних джерелах.

Необхідно враховувати що гідрологічна група ґрунтів іноді наноситься на карту з подвійною специфікацією, такою як A/D, B/D тощо. Це стосується ґрунтів, які вказані як ґрунти D у недренованому стані та специфікація з більшою здатністю інфільтрації, коли вони дреновані. Для розробки засобів контролю стоку важливо використовувати ту саму гідрологічну групу ґрунту для розрахунку передосадочного стоку, що й стоку після розробки. Потрібно вибрати найбільш відповідну гідрологічну групу ґрунту для застосування до обох умов. Часто один, зважений за площею номер кривої використовується для представлення вододілу, що складається з підобластей з різними номерами кривих. Такий підхід прийнятний лише за умови схожості номерів кривих. Коли числа кривих відрізняються із значним відривом, використання зваженого числа кривої значно зменшує розрахункову кількість стоку з вододілу. Це особливо проблематично з проникними/непроникними комбінаціями, «комбінація

непроникних областей з проникними областями може означати значні початкові втрати, які можуть не відбутися»[84].

Таким чином, стік з різних підрайонів слід обчислювати окремо, а потім об'єднувати або відповідним чином зважувати. Щонайменше об'єм стоку з проникної та безпосередньо з'єднаної непроникної зони слід оцінювати окремо для штормів менше ніж приблизно чотири дюйми [68].

Метод чисел кривої є менш точним для штормів, які генерують стік менше 0,5 дюйма; Служба охорони ґрунтів [84] рекомендує використовувати іншу процедуру для перевірки цих ситуацій. Наприклад, глибина шторму, що призводить до 0,5 дюйма стоку, змінюється залежно від КС. Для непроникних областей це 0,7-дюймовий шторм; для «відкритого простору» в хорошому стані на ґрунтах С це 2,3 дюйма; для деревини в хорошому стані на ґрунтах В вона перевищує 3,9 дюйма. Методологія КС також може значно недооцінити стік, утворений меншими штормами [26].

Альтернативний метод розрахунку стоку від невеликих штормів описаний нижче. Нещодавно деякі дослідники припустили, що припущення про те, що  $I_a=0,2S$ , не відповідає спостережуваним даним опадів і стоку так добре, як  $I_a = 0,05S$ . Включення цього припущення в метод чисел кривих призводить до отримання нового рівняння стоку та нових номерів кривих [94] описують нове рівняння стоку та процедуру перетворення традиційних КС на нові значення на основі  $I_a = 0,05S$ . Вони також описують план впровадження цих змін у всі відповідні документи та комп'ютерні програми. Найпомітніші відмінності в моделюванні стоку з цими змінами виникають при менших числах кривих і меншій кількості опадів (використання традиційного припущення числа кривої  $I_a = 0,2S$  призводить до вищих початкових відводів і менших обсягів стоку за цих умов). Рекомендується використовувати традиційне співвідношення  $I_a=0,2S$ , поки додаткові дослідження не підтвердять новий метод. Метод чисел кривої, застосовуваний з урахуванням відповідних КС та врахування вищезазначених міркувань, рекомендований для типових розрахунків об'єму стоку та використовується в таблицях проектування в кінці цієї глави.

### - Метод гідрології малого шторму

Метод гідрології малих штормів (МГМШ) [73] був розроблений для оцінки об'єму стоку з міських і приміських землекористувань для відносно невеликих штормів. (Інші поширені процедури, такі як метод чисел кривої стоку, є менш точними для невеликих штормів, як описано раніше). МГМШ — це проста процедура, у якій стік обчислюється за допомогою об'ємних коефіцієнтів стоку. Коефіцієнти стоку,  $R_v$ , базуються на обширних польових дослідженнях, у широкому діапазоні землекористувань і штормових явищ. Коефіцієнти також були протестовані та перевірені для багатьох інших регіонів США. Коефіцієнти стоку для окремих землекористувань зазвичай змінюються залежно від кількості опадів – більші шторми мають вищі коефіцієнти. У таблиці 1.1 наведено коефіцієнти стоку МГМШ для семи сценаріїв землекористування для 0,5- та 1,5-дюймових штормів. Стік розраховується шляхом множення кількості опадів на відповідний коефіцієнт стоку. Оскільки залежність стоку є лінійною для даного шторму (на відміну від методу чисел кривої), єдиний зважений коефіцієнт стоку може бути використаний для території, що складається з кількох землекористувань.

Отже, стік визначається за формулою:

$$Q = P \times R_v \quad (1.5)$$

де:

$Q$  = стік, мм

$P$  = кількість опадів, мм

$R_v$  = зважений за площею коефіцієнт об'ємного стоку

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти стоку для гідрологічного методу малого шторму [73]

Опади, мм	Об'ємні коефіцієнти стоку, $R_v$						
	Непроникні зони				Непроникні зони		
	Плоскі дахи; Неасфальтована парковка/ділянки	Скатні дахи	Великий непроникні ділянки	Малі проникні території та дороги	Піщані грунти	Мулисті грунти	Глинисті грунти
13	19	24	24	15	0,5	2,2	4
38	22	25	25	20	1,2	3,8	6

### 1.6. Рослинні свали/біосмуги/канави

Конструкція свалів зосереджена на забезпеченні двох основних функцій:

(1) транспортування дощової води та (2) очищення забруднюючих речовин у міських дощових стоках для відповідності нормативним вимогам.

Розробка каналів для очищення води вимагає врахування фізичних, хімічних і біологічних процесів на додаток до традиційного аналізу потужності для транспортування. Кліматичні умовитакож необхідно враховувати як частину процесу проектування; наприклад, у холодному кліматі використання протижеледної солі та зменшення кількості підмітання вулиць у зимові місяці може спричинити засмічення та негативно вплинути на продуктивність валів [13].

Повідомлялося, що свали є поглиначем для забруднюючих речовин, коли (1) концентрація впливу висока, і (2) забруднюючі речовини прикріплені до більш грубих частинок, які можуть бути ефективно видалені за допомогою фізичних процесів фільтрації та седиментації [4].

Основні механізми видалення забруднюючих речовин трав'янистими пагонами включають загальну фільтрацію, осідання та осадження частинок у

стоці [11]; інфільтрація [56]; хімічні опади, мікробна деградація та поглинання рослинності [82].

Основна рекомендація полягає в тому, щоб розробити зливі води на основі цільових забруднювачів, але також розглянути альтернативи зливових вод, які допомагають досягти локальних багатоцільових цілей управління зливовими водами. Добре доглянуті трав'яні валики із запірними дамбами або інфільтраційними валами можна використовувати для зменшення об'єму стоку, осаду та важких металів видалення. Вологі волокна є найефективнішою альтернативою для обробки азотом, а біологічні волокна є найбільш ефективними для обробки фосфору та бактерій. Біосвали також можуть видаляти важкі метали. Умови навколишнього середовища повинні враховуватися при проектуванні свалів.



Рисунок 1.7 – Схема рослинного свалу з підстиляючим шаром заповнювача

#### - Метод розрахунків для біосвалів

Використання рівняння Меннінга, щоб обчислити швидкість, пов'язану з потоком від пікового розряду 10-річного шторму або місцевого стандарту.

Рівняння Меннінга [73]:

$$Q = VA = \frac{1.49}{n} \left( \frac{A}{WP} \right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (1.6)$$

де:

$Q$  = Потік

$V$  = швидкість, м/сек

$A$  = Площа, см<sup>2</sup>

$n$  = коефіцієнт шорсткості Меннінга

$WP$  = зволожений периметр, см

$S$  = нахил, см

Коефіцієнт шорсткості Меннінга, або значення « $n$ » у рівнянні, змінюється залежно від типу рослинного покриву та проектної глибини потоку.

### 1.7. Проникні тротуари

На відміну від звичайних тротуарів, водопроникні тротуари (рис.1.8) пропонують багато переваг, включаючи захоплення поверхневого стоку, покращення опору ковзанню, зменшення забруднюючих речовин і поповнення ґрунтових вод. Зазвичай водопроникні тротуари класифікуються на три категорії залежно від типу матеріалу: пористі асфальтові тротуари, пористі бетонні тротуари та водопроникні бетонні тротуари. Крім того, на основі характеристик конструкцій ці покриття можна класифікувати як дренажні покриття (DP), напівпроникні покриття (SP) і повністю проникні покриття (FP) [97].

Доведено також, що тротуар JW здатний зменшувати викиди забруднюючів транспортних засобів біля землі на 40–87% протягом 5 хвилин викидів [22], а також мав здатність нести навантаження, проникність, ємність для зберігання води, повітропроникність, збагачення підземної екосистеми, доступність і стійкість [5].



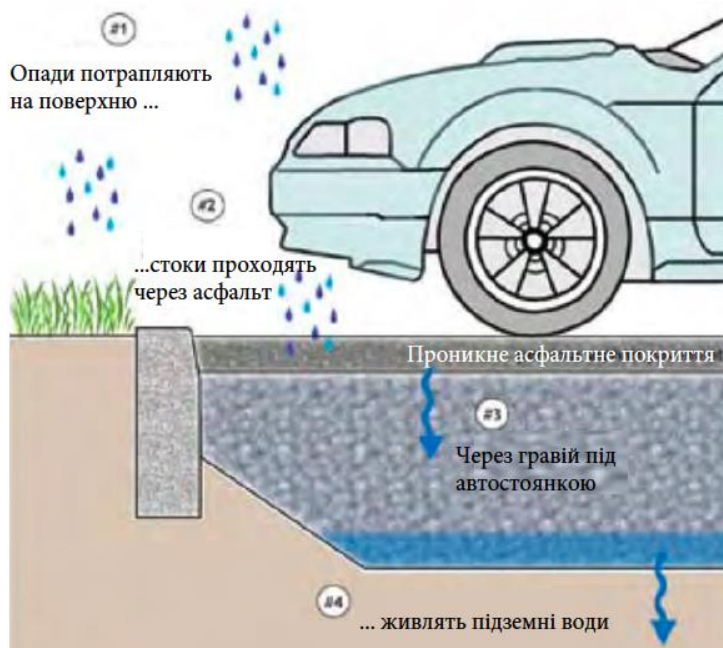


Рисунок 1.8 – Схема проникного тротуару.

Проникна система дорожнього покриття складається з пористого шару поверхні, під яким знаходиться поглинаючий шар, розміщений на неущільненому земляному покритті для полегшення інфільтрації дощової води (рис.1.9.).



Рисунок 1.9 – Прошарки проникного тротуару.

Проникні тротуари можуть бути ефективними для зменшення скидів зливових стоків і концентрації забруднюючих речовин, хоча їх ефективність може бути змінною і більше залежить від конструкції підстилаючих шарів і умов навколишнього середовища, ніж від типу поверхні. Вибір типу поверхні

залежить від потреб користувача, вартості, наявності матеріалів, можливості будівництва та обслуговування, але він має мінімальний вплив на загальне утримання зливових стоків, утримання та очищення забруднюючих речовин системою. Зменшення об'єму зливових стоків, як правило, є функцією швидкості інфільтрації підгрунтя та базової сховища [7].

Однак, залежно від обмежень на ділянці, деякі проектувальники можуть включити вкладиші та дренажні системи, які б не проникали в стік. І системи, що проникають, і системи, що не проникають, забезпечують екологічні переваги — через затримку, утримування, випаровування та видалення забруднюючих речовин, усе в різному ступені — тому багато суб'єктів розглядають їх як проникні поверхні. Проникні тротуари з глибшими підповерхневими шарами можуть затримувати більші об'єми зливної води, тоді як високі показники інфільтрації навколишнього ґрунту дозволяють підповерхневим шарам дренувати швидше, що також покращує здатність до утримання. Хоча швидкість інфільтрації тротуару є важливою, вона рідко є обмежуючим фактором, оскільки швидкість інфільтрації поверхневого та основного шарів при правильній конструкції має тенденцію перевищувати пікові показники кількості опадів і зливових вод [8].

Загалом водопроникні тротуари продемонстрували ефективність зменшення зливових стоків від 25 до 100 відсотків, що відображає діапазон підходів до проектування та умов місця [53]. Проникні тротуари знижують концентрацію забруднюючих речовин за допомогою кількох процесів. Шари середовища фільтрують дощову воду та сприяють видаленню забруднюючих речовин за допомогою фізичної фільтрації та біологічних процесів. Основним чинником при обробці є також підстильний ґрунт. Піщані ґрунти вбирають більше зливових вод, але мають меншу здатність до очищення. Глинисті ґрунти можуть утримувати та захоплювати більше забруднюючих речовин, але вони менше проникні. У таблиці 1.2 наведено вимірне видалення забруднюючих речовин з проникних систем тротуарів [8].

Таблиці 1.2 – виміряне видалення забруднюючих речовин з проникних систем тротуарів [44]

Тип поверхні	Загальна кількість зважених твердих речовин	Метали	Поживні речовини
Пористий асфальт	94–99%	76–97%	42–43%
Проникний бетон	91%	75–92%	Н/Д
водопроникне переплетене бетонне покриття	67–81%	13–88%	34–72%

Проникні тротуари можуть забезпечити зменшення об'єму дощової води, затримку та видалення забруднюючих речовин залежно від конструкції систем. Проникні тротуари з характеристиками зменшення кількості води та забруднювачів (наприклад, 80 відсотків загального зменшення зважених твердих речовин) можуть отримати акредитацію за стандартами, тобто системами оцінки екологічних або екологічних будівель, такими як Лідерство в енергетичному та екологічному дизайні (LEED) і Green Globes. Вони також можуть отримати акредитацію за збереження води, збереження матеріалів за рахунок використання перероблених матеріалів, а також за регіональне виробництво та використання ресурсів [98].

### 1.8. Зелені вулиці та алеї

Нова міська програма ООН – а також інші ініціативи міжнародних організацій, у тому числі Європейського Союзу [38], Світовий банк [78] – визнає важливість громадського зеленого простору і природи в містах, а також необхідність захисту та покращення екосистемних послуг, які вони надають. Тому, щоб сприяти трансформаційним змінам у напрямку позитивного

майбутнього для людей і природи, зелені та блакитні зони мають бути інтегровані в міське та просторове планування на всіх рівнях [14].

Зелені вулиці поєднують більше ніж одну функцію для збору та очищення дощової води. Зелені вулиці та алеї створюються шляхом інтеграції елементів зеленої інфраструктури в їх дизайн для зберігання та фільтрації дощової води. Проникний тротуар, біопокриття, і дерева є одними з елементів, які можна вплести в дизайн вулиці чи алеї (рис.1.10).

У багатьох містах вулиці складають третину чи більше всієї землі та половину непроникної поверхні. Традиційно вони збирають і транспортують дощову воду безпосередньо в систему зливової каналізації, яка веде до прилеглих водотоків. Таким чином, вони є одночасно перешкодою для природної гідрології та можливістю покращити управління зливовими водами. Вулиці, які захоплюють та пропускають дощову воду назад у міську екосистему, можуть приносити екологічні, економічні переваги та користь для здоров'я населення [12].



Рисунок 1.10 – Приклад оновлення вулиці за допомогою озеленення.

Традиційне планування вулиць має тенденцію дотримуватися ієрархії. Коли розробляють регіональні генеральні плани або плани капітального ремонту, необхідно визначити всі доступні можливості для перепланування вулиць відповідно до розумних практик розвитку, включаючи вирішення проблеми управління зливовими водами. Розумні вуличні конструкції підтримують більш інтенсивний розвиток на меншій площі. Ці проекти можуть допомогти зробити вулиці безпечнішими та привабливішими для пішоходів, велосипедистів, користувачів громадського транспорту та водіїв, а також включають управління зливовими водами. Розумне планування вулиці може

призвести до менш водонепроникного покриття та зменшити розповсюдження. Крім того, концентрація росту та розвитку в певних частинах вододілу може допомогти захистити більш чутливі території, такі як верхів'я. У тій мірі, в якій дизайн вулиць може зменшити рух транспортних засобів, транспортні засоби, що рухаються, стоятимуть коротші періоди часу, викидаючи менше забруднюючих речовин на дорожню поверхню для збирання зливових вод [2].

Для нової розробки або реконструкції будь-якої частини транспортної системи функції управління зливовою водою повинні бути невід'ємною частиною проекту, а не додатковими функціями.

Там, де це можливо, вулична модернізація повинна використовувати переваги можливостей для покращення дренажної системи або додавання структурних і неструктурних засобів контролю дощової води, щоб зменшити потік дощової води або фільтрувати забруднюючі речовини. Це вимагатиме нового підходу до ремонту та переобладнання вулиць. Що можуть використовувати кілька методів та переваги зливової води на існуючі вулиці.

Одна з проблем це багато різних відомств, що контролюють проектування вулиць і доріг. Департаменти транспорту зазвичай контролюють проектування та експлуатацію автомагістралей і великих автодоріг, тоді як місцеві органи влади контролюють менші вулиці. Для успішного впровадження розумних проектів вулиць необхідна міжвідомча координація та співпраця. Обмеження інноваційного дизайну вулиць також можуть мати місце в самих правилах зливової води. Загальні нормативні акти, які вимагають відводу землі, обов'язкового проникнення або скидання, можуть створювати перешкоди для кращого дизайну ділянки.

Витрати на реалізацію альтернативних планів і моделей вулиць залежать від факторів, які відрізняються для окремих проектів. Основні витрати, які слід враховувати, стосуються самого будівництва вулиці. Створення альтернативних проектів і моделей вулиць може коштувати більше за одиницю, ніж традиційне проектування, оскільки вони включають кілька компонентів інфраструктури (наприклад, вулиці, інженерні комунікації, дренажну інфраструктуру, засоби

контролю дощової води, зелені зони, велосипедні доріжки) на меншій площі. Однак вони створюють переваги для населення, координуючи транспортне та екологічне планування, що неможливо з традиційним дизайном. Планувальники повинні взяти до уваги ці переваги, включаючи зменшення утворення зливових стоків, покращену мобільність та підвищення вартості нерухомості, розглядаючи економічну ефективність альтернативних проєктів та моделей вулиць [70].

### **1.9. «Зелені» місця для паркування**

Стоянки є хорошим місцем для встановлення зеленої інфраструктури, яка може захоплювати зливі води, які зазвичай стікають у каналізаційну систему. Багато елементів «зеленої» інфраструктури можна бездоганно інтегрувати в проєкти паркінгів. Проникні тротуари можна встановлювати на ділянках ділянки, а дощові сади та біосмуги можна включати всередину та по периметру автостоянки. У разі встановлення на парковці ці елементи також зменшують ефект теплового острова та покращують прохідність у цій зоні [24].

Паркувальні місця представляють гарну можливість включити зелену інфраструктуру в план, особливо для нових проєктів (рис.1.11).



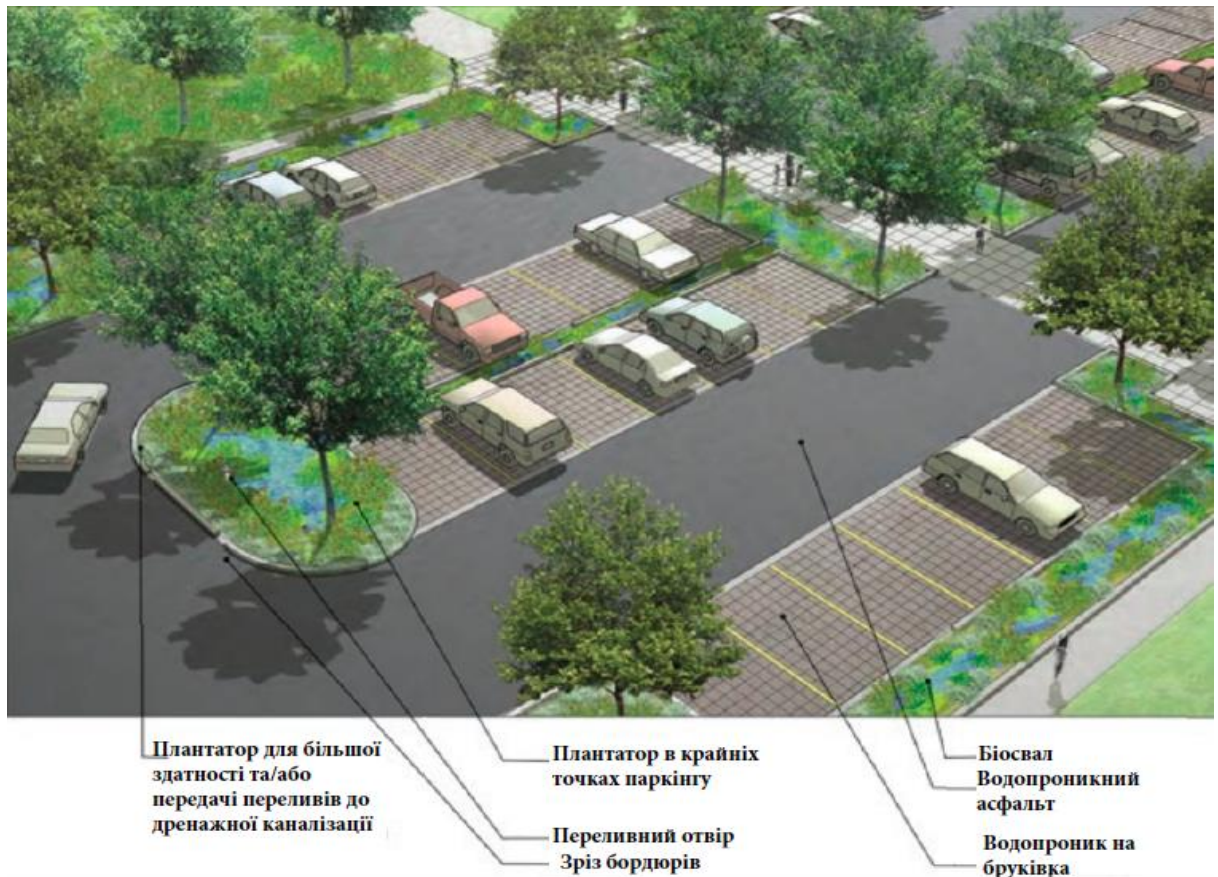


Рисунок 1.11 – Парковка для автомобілів з «зеленою» інфраструктурою

Незважаючи на те, що модернізація паркувальних місць може бути дорогим, часто рентабельно включати практики зеленої інфраструктури, коли автостоянка або тротуар оновлюють/реконструюють. Проникна тротуарна бруківка найкраще підходить для використання з низьким рухом і низькою швидкістю, наприклад для паркувальних місць. З'єднувальна бетонна плитка частіше використовується в комерційних і промислових приміщеннях з високим навантаженням.

Одним з ефективним прийомом зеленого паркування є використання альтернативних покриттів. Альтернативні поверхні включають водопроникні поверхні та зменшують кількість дощової води за рахунок збільшення інфільтрації. Вони можуть включати гравій, бруківку, цеглу, трав'яну бруківку, газон, натуральний камінь і водопроникні тротуари. Проникні тротуари включають водопроникну бруківку, водопроникний бетон і пористий асфальт і



можуть бути ефективними заміниками звичайного асфальту та бетону, враховуючи їхню довговічність.

Практики «зеленої» інфраструктури, такі як методи біоутримання та трав'яний паркінг, є іншими методами зеленого паркування, які можуть ефективно очищати дощову воду до того, як вона покине паркувальний майданчик.

Трав'яні паркінги – це рослинні конструкції, які сповільнюють потік дощової води, дозволяючи твердим речовинам осідати. Залежно від умов ділянки та типу дизайну, вони можуть сприяти інфільтрації.

Проникні тротуари, методи біозатримки та трав'яні смуги можуть бути дорожчими, ніж традиційне будівництво, хоча важливо брати до уваги економію коштів, яку можна досягти за рахунок зниження вимог до управління зливовими водами.

Збільшення стоку також призводить до раптових повеней і впливає на існуючу дренажну систему. Таким чином, протягом останніх десятиліть водопроникні стоянки привернули велику увагу для підтримки ефективного управління зливовими водами в міських районах. Проникні стоянки пропонують різноманітні екологічні переваги, включаючи зменшення стоку, покращення інфільтрації, затримку часу для пікового потіку [79].

Незважаючи на те, що ця автостоянка побудована як типова стоянка з різними шарами бетону та заповнювачів, головною відмінністю водопроникної стоянки є потреба в міцності, щоб витримувати навантаження транспорту, а також необхідна водопроникність для хорошого зберігання стоків. Проникність залежить від вмісту порожнеч у шарі, а здатність до зберігання залежить як від вмісту порожнеч, так і від товщини шару. Загалом, поверхневий шар з приблизно 20% повітряних порожнеч демонструє відповідну міцність на стиск для застосування на паркувальних майданчиках із помірним рухом вантажівок. При цьому товщина шару заповнювача залежить від гідрологічної конструкції, навантаженості автотранспорту та глибини промерзання [13].

Проникні автостоянки зазвичай проектуються з метою поглинання або затримання, де поглинання дозволяє стоку просочуватися в підстилаючий ґрунт, тоді як затримання сприяє тимчасовому зберіганню та подальшому випуску стоку в існуючу систему зливового дренажу. Незважаючи на те, що і затримуюча, і утримуюча конструкції допомагають зменшити раптове затоплення, підтримуючи зменшення пікового стоку, вибір конструкції критично залежить від стану ґрунту, що лежить під ним. Незалежно від цього вибору необхідно перевірити якість зливної води, що випускається з водопроникного покриття, щоб переконатися, що вона може безпечно просочуватися крізь ґрунт, що лежить під ним, або бути випущеною в існуючу зливову систему.

Протягом тривалого періоду дослідники досліджували очисну здатність водопроникного покриття. Таким чином, відомо, що проникне покриття знижує рівень забруднюючих речовин, таких як зважений азот, фосфор [44], важкі метали, такі як цинк і мідь [66], розчинені солі та завислі тверді речовини [53]. Тим часом гранульовані матеріали, такі як пісок і гравій, використовувалися як фільтраційні середовища через їхню здатність утримувати осад, що містить домішки [70]. Гранулят також відсіює більшість бактерій.

Швидкість інфільтрації ділянки дорожнього покриття (проникний бетон + шар заповнювача + водопроникний пористий бетон низької щільності (PLDCC)) з PLDCC становить приблизно 1795 см/год., тоді як без PLDCC становить 3357 см/год. Навіть незважаючи на те, що швидкість інфільтрації в секціях тротуарної плитки зменшується через включення PLDCC, вона все ще знаходиться в межах (500–7600 см/год), запропонованих [83].

### **1.10 «Зелені» покрівлі**

«Зелені» дахи (ЗД) – це штучні екосистеми, які забезпечують природне рішення екологічних проблем, таких як зміна клімату та міський тепловий острів. Зелені дахи допомагають зберегти як охолоджуючу, так і нагрівальну енергію; осадження частинок і пом'якшення забруднення повітря; контроль

стоку та забруднення води; сприяння біорізноманіттю; надання естетичних переваг і переваг для здоров'я.

За останні десятиліття було задокументовано багато застосувань ЗД, які можна класифікувати на три основні групи [90]:

(а) екстенсивні визначені як одне з найефективніших рішень для впровадження стійкості в будівельну сферу, який характеризується невеликою глибиною ґрунту (менше 20 см) і рослинністю які потребують незначного догляду та відсутності постійної системи зрошення, що можна вважати економічно ефективною системою [50];

(б) прості або напівінтенсивні що характеризується невеликими рослинами, травами, газонами та невеликими кущами, які потребують помірного догляду та періодичного зрошення [64];

(в) інтенсивні які характеризується глибокими субстратами, що досягають глибини 1 м, здатними підтримувати більші рослини, такі як великі кущі, луки, клумби та навіть дерева, що потребують систематичного догляду та зрошення [69].

«Зелені» дахи можуть зменшити навантаження на охолодження до 70%, знизити температуру в приміщенні, досягнувши зниження температури повітря в приміщенні до 15°C, і забезпечити значне покращення умов теплового комфорту. Екологічні переваги «зелених» дахів були зосереджені на зниженні концентрації забруднюючих речовин (наприклад, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>), поглинанні вуглецю та зниженні міського шуму [45].

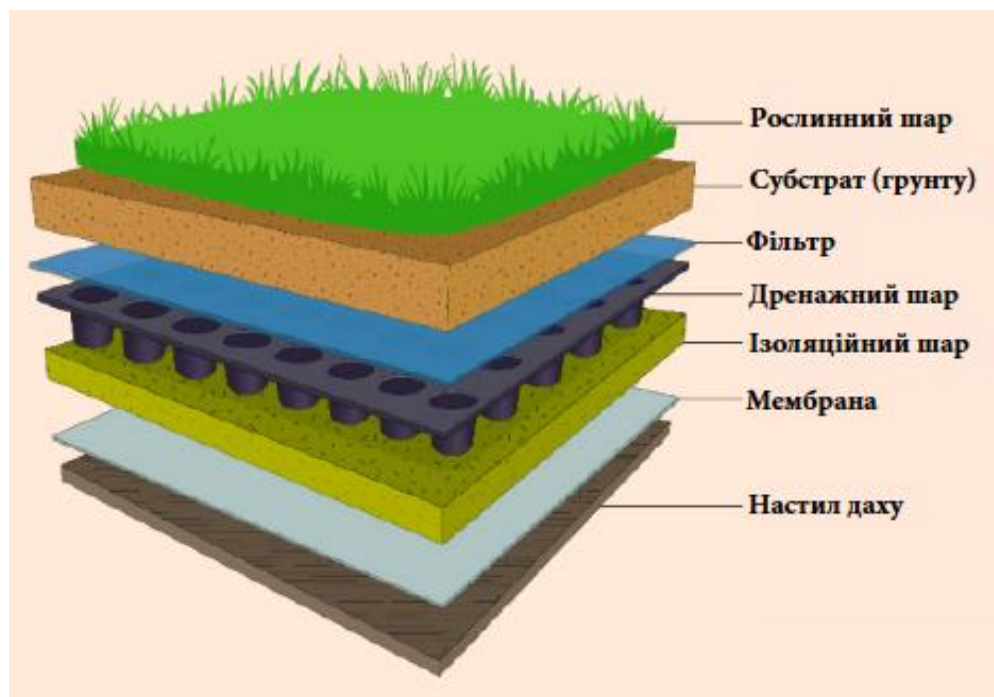


Рисунок 1.12 – Прошарки «зеленої» покрівлі [69]

«Зелені» дахи розроблені та впроваджені як штучні екосистеми, які покращують стійкість міст, виконуючи численні функції та надаючи широкий спектр взаємодіючих послуг і переваг у різних масштабах [69]. Таким чином, за останні кілька десятиліть виявлено значну кількість пов'язаних переваг, що охоплюють широкий спектр сфер сталого розвитку та роблять зелені дахи популярним інженерним додатком у всьому світі для боротьби зі зміною клімату, пом'якшення UHI (Urban Heat Island) та покращення якості міського повітря та води. Переваги, які пропонує ЗД, можна класифікувати наступним чином [48]:

1) Енергетичні переваги: безпосередньо виражені через зменшення навантаження на охолодження та опалення, які мають значний вплив на енергетичну поведінку системи. ЗД сприяють економії витрат на охолодження до 70%, а також зниженню температури в приміщенні до 15 °C [85].

2) Переваги для атмосфери: зелена інфраструктура, включаючи ЗД, сприяє збільшенню відкладення забруднюючих речовин у рослинності, таким чином зменшуючи їх концентрацію та очищаючи повітря [65], а також зменшуючи концентрацію вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), головним чином через до зменшення

споживання енергії будівлею через випаровування, а також поглинають значну кількість CO<sub>2</sub> через фотосинтез [77].

ЗД сприяли зниженню концентрації забруднювачів повітря PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>; поглинання вуглецю шляхом фотосинтезу та евапотранспірації; покращення якості стокової води; і зниження міського шуму. Експерименти та спостереження показали зниження PM<sub>2,5</sub> на 7–33 % і значне зниження PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, тоді як ЗД показали чудовий внесок у поглинання вуглецю [45].

3) Переваги для гідросфери: рослинні дахи мають значний регулюючий вплив на об'єм стокової води, тим самим сприяючи пом'якшенню пльовіальних повеней, а також покращенню якості стокової води та зниженню присутності забруднювачів міських зливових вод, оскільки рослини та ґрунтовий субстрат поглинають і фільтрують забруднювачі і діють як поглиначі для нітратного та аміачного азоту [96].

4) Переваги екосистеми: ЗД можуть надавати важливі екосистемні послуги для сталого розвитку міст, які в першу чергу пов'язані зі збільшенням біорізноманіття та ренатурацією міст [30].

5) Соціально-естетичні та психологічні переваги: ЗД може забезпечити ділянку в центрі міського середовища з меншим рівнем шуму та забруднення, тим самим сприяючи психологічному, фізичному здоров'ю та покращенню самопочуття [54].

### **1.11 Стандарти «зеленого» будівництва**

Кожна країна має свою систему рейтингу. Деякі рейтингові системи більш поширені та використовуються на міжнародному рівні. Розглянемо 5 основних систем рейтингу екологічних будівель з усього світу:

**1. LEED** «Лідерство в енергетичному та екологічному проектуванні» – рейтингова система LEED є найпоширенішою та широко використовуваною сертифікацією зеленого будівництва у світі. По суті, це провідний стандарт, який

використовується для оцінки ефективності використання енергії будівлею та здатності зменшувати викиди вуглецю. Загальна програма полягає в тому, щоб будівлі більш ефективно використовували свої ресурси.

2. WELL – це програма сертифікації, якою керує Міжнародний інститут будівництва WELL, і вона зосереджена на проектах будівель, які відіграють важливу роль у здоров'ї та благополуччі мешканців. Як і LEED, він має власні фокуси при оцінці будівлі. 11 фокусів: повітря, вода, живлення, світло, рух, тепловий комфорт, звук, матеріали, розум, спільнота та інновації.

3. Green Globes – це рейтингова система, яка використовується як у США, так і в Канаді. Програма сертифікації, на відміну від попередніх двох, розроблена таким чином, що будівлі можуть пройти самооцінку з керівником проекту та командою проектувальників. Процес включає анкету, яка дозволяє заявнику поставити під сумнів свій проект і пізніше внести зміни для отримання сертифікату. Як і LEED, він також має рівні сертифікації: 1, 2, 3, 4 і 5 Green Globes. Сертифікація поширюється на різні типи будівель, включаючи існуючі та нові споруди. Основними цілями цієї сертифікації є енергоефективність та енергоефективність, вода, системи управління відходами, викиди, навколишнє середовище в приміщенні та управління навколишнім середовищем.

4. BREEAM, що розшифровується як метод оцінки навколишнього середовища науково-дослідної установи, є найстарішою програмою сертифікації. Заснований у 1990 році, він широко використовується в усьому світі в понад 50 країнах, понад 560 000 сертифікованих і понад 2 мільйони зареєстрованих. Рейтингова система зосереджена на 9 категоріях: управління, здоров'я та благополуччя, транспорт, вода, матеріали та ресурси, землекористування та екологія та забруднення. Наші раніше згадані «Зелені глобуси» є однією з багатьох програм сертифікації, натхненних BREEAM, оскільки їхня мета полягає в тому, щоб підштовхнути майбутні будівлі до того, щоб вони більше зосереджувалися на екологічності та в той же час уважні до характеристик та ефективності будівлі.

5. Green Star — це міжнародна рейтингова система, яка в основному використовується в Австралії та Південній Африці. Усі категорії в їхній програмі включають розділ інновацій, який винагороджує будівлі за винайдення нових і креативних способів підходу до сталого розвитку. Green Star охоплює широкий спектр типів будівель і в основному зосереджується на таких речах, як якість повітря в приміщенні, споживання енергії, транспорт, вода, матеріали та ресурси, землекористування та екологія, а також викиди. Green star сподівається, що їхня програма підштовхне майбутні проекти до прийняття свідомих рішень щодо споживання енергії та вибору матеріалів.

Підводячи підсумок, екологічні будівлі класифікуються за програмами сертифікації, а також за рівнями в рамках цих програм. Будівля може мати кілька різних сертифікатів від різних програм, що робить їхню думку ще більш достовірною. Перегляньте тут , щоб побачити деякі з найбільш стійких будівель на нашій планеті.

### **1.12 Впровадження «зелених конструкцій» в Україні**

Україна встановлює стандарти для ландшафтно-рекреаційного планування територій населених пунктів через ДБН Б. 2.2-12: 2018 [103]. Цей документ включає інноваційні підходи до збільшення зеленої площі, такі як вертикальні сади та парки (модульні та килимові), пересувні системи озеленення, зелені екрани та стіни, а також сади безперервного цвітіння. Крім того, Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів [111] також мають важливий вплив на організацію зелених насаджень.

Згідно класифікації, зелені насадження поділяються на три головні категорії:

а) Озеленені території загального користування, такі як парки культури і відпочинку, парки відпочинку, сквери та бульвари, а також спеціалізовані парки, такі як ботанічні сади, зоопарк, Музей народної архітектури і побуту, НК «Експоцентр України», та гольф-парк.

б) Озеленені території обмеженого користування, що включають дворові житлові території, ділянки землекористування дитячих установ, шкіл, вузів, наукових і лікувальних установ, підприємств і організацій.

в) Озеленені території спеціального призначення, такі як санітарно-захисні зони промислових підприємств, водоохоронні, меліоративні та лісозахисні смуги, оранжерейні господарства та розплідники, коридори інженерних мереж, озеленені частини вулиць, доріг і кладовищ.

Рівень забезпеченості загальнодоступними зеленими насадженнями в Україні становить 20,0 м<sup>2</sup> на одну людину. Для порівняння, у провідних столицях Європи цей показник такий: Лондон - 12,0 м<sup>2</sup>/люд., Берлін - 10,0 м<sup>2</sup>/люд., Рим - 9,0 м<sup>2</sup>/люд. Високий рівень озеленення в місті відзначається завдяки великим загальнодоступним зонам, але це також призводить до недостатнього догляду, старіння та вимирання рослин.

Території обмеженого користування та спеціального призначення потребують більшої уваги. Це пов'язано з економічними, політичними та соціальними факторами. Закриття підприємств і виробництв, а також занедбаність зеленими насадженнями спеціального призначення призвели до їх занедбаності та пошкодження, що має негативний вплив на якість міського середовища та здоров'я населення через алергічні реакції, спричинені бур'янами.

На сьогоднішній день, КП «КиївЗеленБуд» активно веде роботу з підтримки та реконструкції існуючого зеленого фонду. Головним чином, це включає висадку окремих квіткових і деревних композицій на території міста. Отже, альтернативні методи озеленення в цих зонах мають потенціал для подальшого розвитку.

Українські стандарти для «зеленого» будівництва є добровільними [114]. Українська Рада з «зеленим» будівництвом активно сприяє впровадженню цих стандартів і принципів в Україні, включаючи впровадження міжнародних стандартів «зеленого» будівництва, сертифікацію нерухомості за цими стандартами, організацію конференцій та семінарів для фахівців будівельної галузі, екологів та юристів, та популяризацію «зеленого» будівництва.



На жаль, на сьогоднішній день відсутні нормативні документи для впровадження подібних технологій в «зеленому» будівництві України. Це означає, що багато ландшафтно-проектних компаній, які займаються "покрівельним озелененням", не мають відповідного розуміння щодо проектування "зелених конструкцій", що може призвести до порушень технології, безпеки та скорочення терміну служби об'єктів. Винятком є міжнародні компанії, такі як OptiGreen, ZinCo, FlorDepot, які працюють на українському ринку з використанням європейських стандартів і технологій.

В Україні наявні зелені покрівлі на житлових будинках, але вони затверджені як експериментальні. Прикладами є "зелена покрівля" на житловому будинку Tetris-Hall та адміністративній будівлі в ЖК «Республіка», які відрізняються типом системи «зеленої» покрівлі та озеленення. Також «зелені покрівлі» офісних будівель стають популярними та використовуються для рекреації та комерційних цілей, наприклад, для проведення різних заходів.

У 2013 році обговорювалася ідея створення міні-агрозосподарств на дахах багатоповерхових будинків в Києві, хоча цей проект не отримав подальшого розвитку [117]. Проте ця ідея є перспективною, особливо враховуючи наявність більш як 200 гектарів стаціонарних дахів у Києві, які можуть бути використані для міні-сільського господарства. Крім того, пласка покрівля, яка покриває більшість дахів, утримує сонячну теплоту, що може бути використаною для тепличного господарства.

Звісно, багато ще залежить від нормативної бази на тему «зеленого» будівництва, на які мають опиратися рішення щодо впровадження «зелених» конструкцій, і такі нормативні документи (2 ДСТУ по «зеленим» конструкціям) зараз розробляються в КНУБА професоркою Ткаченко Т.М. та д.т.н. Мілейковським В.О.

## **Висновки до розділу 1**

1. Базуючись на літературному аналізі можна зробити висновок, що проблема затоплень та управління дощовим стоком можливо вирішити за

допомогою «зелених» конструкцій, які матимуть фактор покращення для системи дощової каналізації К2. Перелік наявних «зелених» систем можливо підібрати в залежності від функціональних, економічних та територіальних факторів щодо їх реалізації на практиці.

2. Сучасний стан дощової каналізації К2 потребує покращень, реновації, адаптацій під нові кліматичні умови, щоб мати змогу максимально функціонувати навіть під час екстремальних погодних умовах; через брак рішень щодо впровадження експериментальних і нових технологій якими є та можуть бути «зелені» конструкції – громади отримали застарілість міської системи зливової каналізації яка неспроможна виконувати початково запроєктовані функції та ефективно відводити поверхневий стік з урбанізованих територій.

3. Нормативна база відповідає тим задачам та завданням які необхідні для створення та реалізації «зелених» проєктів в галузі будівництва в цілому, зокрема в сфері дощового водовідведення.

Хоча в Україні така нормативна база тільки на початковому своєму етапі розвитку, для якої можу слугувати основа світових стандартів, необхідно більше нормативних документів та правових актів в сфері «зеленого» будівництва. Включати в них більш широкий опис і спектр систем, технологій і практик, які можна впроваджувати в будівельні проєкти на різних стадіях будівництва – нове, реконструкція, реновація, реставрація, капітальний і поточний ремонт.

## РОЗДІЛ 2

### ЗМЕНШЕННЯ ОБ'ЄМУ ДОЩОВИХ СТОКІВ НА КОНСТРУКЦІЯХ ПОКРІВЕЛЬ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

#### **2.1. Концепція природного управління дощовими стоками на урбанізованих територіях**

В реаліях сьогодення, коли кожного дня відбуваються кліматичні події та «рекорди» в негативний вектор впливу на навколишнє середовище, необхідно приймати рішучі рішення щодо покращення технологій та систем в цілому а також, саме в будівельній галузі.

Існує необмежена кількість теоретичних знань які потребують практичної перевірки реальними умовами та часом. «Зелене» будівництво не є виключенням. Зараз потрібно розробляти реальні проекти на базі теорій та перевіряти їх ефективність. Тому, необхідно на основі аналізу різних типів та систем, які створені та розроблені для зменшення та мінімізації негативного впливу на довкілля від дощових стічних вод звести до єдиної концепції практик. Такі практики є початковими точками на які потрібно звертати увагу при обрані проєктних рішень для вирішення поставлених задач.



Рисунок 2.1 – Загальна концепція управління дощовими стоками

В подальшому в роботі увага, дослідження, розрахунки та розробка інноваційних ідей буде приділена трьом практикам з управління дощовими стоками, це:

1. «Зелені» покрівлі;
2. Акумулюючі/акопичувальні баки та резервуари
3. Проникні поверхні

Такі практики в галузі «зелених» конструкцій спрямовані на зменшення об'єму та кількості дощового стоку.

Тобто при кліматичних умовах, за дощових опадів та зливах з'являється певний об'єм водних ресурсів, які можуть накопичуватись через недостатню

пропускну здатність роботи стаціонарних мереж каналізації К2, таким чином спричиняючи затоплення та підтоплення територій.

Проаналізовано шлях надходжень дощових опадів, як саме вони можуть збільшувати свій об'єм на певній площі територій. В міському ландшафті присутня велика кількість різних споруд та конструкцій, але нас цікавлять – площі покрівель/дахів будинків та автошляхи (з прилеглими територіями).

На такі площі припадає значна кількість опадів, яка поєднується одна з одною створюючи масштабну кількість поверхневого стоку вцілому, що прямує до централізованих застарілих каналізаційних мереж, з послідуєчим спрямуванням до колекторів і водоносних горизонтів або очисних споруд. З поміж іншого присутній фактор забруднення дощової води яка надходить, забруднювачі, що присутні на автошляхах – важкі метали, залишки нафтопродуктів, автомобільні рідини і багато іншого. Це все змиває стік і надходить то навколишнього середовища. Яка саме кількість шкідливих речовин та їх склад не досліджувався, це питання має сенс у подальших наукових роботах та досліджень.

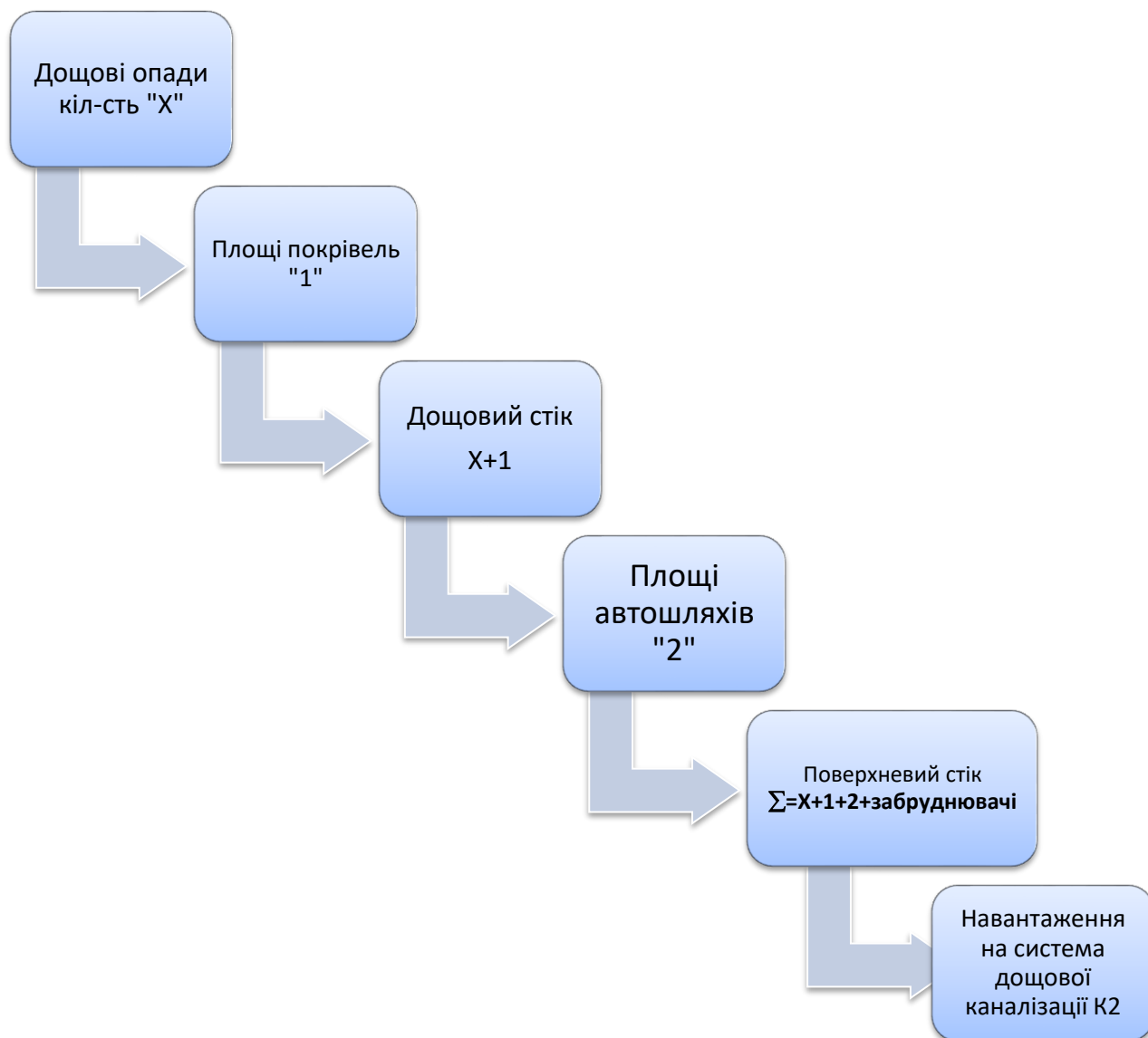


Рисунок 2.2 – Шлях надходжень дощових опадів

Подібний вектор надходжень дощових опадів створює завдання, яким чином на кожному з етапів можливо застосувати «зелені» конструкції і системи для зменшення об'єму дощового стоку, його раціонального відводу, накопичення та повторного використання для технічних потреб.

## 2.2 Зменшення об'єму дощових стоків на конструкціях покрівель та їх використання

Загальна концепція комплексних рішень управління дощовими стоками є базою і основою для підбору проєктних рішень, але остаточний підбір

відбувається індивідуально, в залежності від задачі та цілі яку необхідно вирішити під кожен об'єкт будівництва.

Так, на початковому етапі необхідно звернути увагу на значні площі які розташовані в бетонних мегаполісах та містах – покрівлі споруд.

Під час забудівлі будь-якої ділянки, особливо в густонаселених містах площа будівлі(покрівлі) переважно більша ніж прибудинкова територія з зеленими насадження, які можуть виконувати функцію поглинання поверхневого стоку, тому є гостра необхідність за допомогою технологій це змінити.

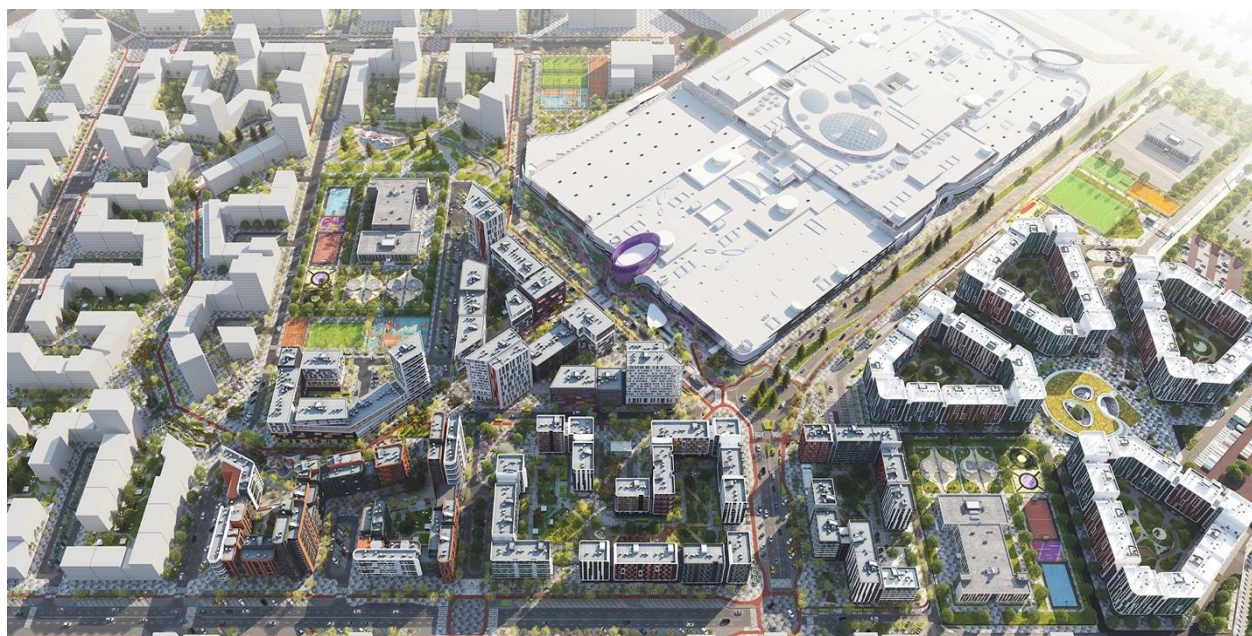


Рисунок 2.3 – План розташування будівель з плоскими стаціонарними покрівлями в ЖК Республіка в м. Києві

Покрівлі відіграють важливу роль на будь-якому об'єкті будівництва. Одна з них – це прийом дощових опадів. За екстремальних погодних умов кількість опадів і об'єм водних ресурсів, які можуть надходити на площу покрівлі, змушують працювати інженерні мережі споруди для швидкого та якісного водовідводу. Саме на стадії потрапляння та відводу дощових опадів є потреба у використанні «зелених» конструкцій, а саме – системі «зеленої» покрівлі.

Такі системи створені для раціонального поводження з дощовими стоками на дахах будівель.

### **2.3 Експериментальне оцінювання роботи системи «зеленої» покрівлі**

У даному розділі дослідження буде зосереджено на оцінці ефективності накопичення дощових опадів в системах «зелених» покрівель. Дослідження набуває значущості в контексті зростаючих викликів сталого розвитку та ефективного управління водними ресурсами. Зокрема, важливим завданням є забезпечення міських територій оптимальним способом використання дощових опадів, щоб мінімізувати вплив негативних аспектів, таких як повені і деградація ґрунту, та водночас сприяти підтримці екологічно збалансованого середовища за допомогою повторного/вторинного використання ресурсів. А саме, дощової води для потреб керуючої компанії будівлі технічного характеру(полив, миття, фонтани).

Аналіз цих факторів дозволить глибше розібратися у механізмах накопичення та використання дощової води. Різні типи рослинного покриття на дахах можуть мати різний вплив на водоутворення, вологозберігання та випаровуваність. Розміщення систем "зелених" покрівель також може впливати на ступінь їхньої ефективності залежно від напрямку вітру, експозиції сонця та інших атмосферних умов. Об'єм акумулюючих баків та їхні технічні характеристики можуть визначати масштаб збереження води, що може бути використано для різних цілей, а властивості ґрунту під системами "зелених" покрівель можуть впливати на здатність ґрунту утримувати та відпускати воду.

Оцінка ефективності накопичення дощової води дозволить визначити, наскільки ці системи можуть здійснити позитивний вплив на локальну гідрологію та водообіг, забезпечуючи додатковий резерв води під час періодів високого попиту або недостатку опадів. Крім того, важливо вивчити екологічні та соціальні аспекти використання таких систем, щоб зрозуміти їхній внесок у покращення якості життя в міському середовищі.



Для цього було сконструйовано модель 3х (трьох) різних типів систем «зеленої» покрівлі ТМ «ZINCO», розташовано на подвір'ї у Київській області для експериментальної перевірки пропускнуої здатності та ефективності системи накопичувати воду всередині моделі «зеленої» покрівлі.

- 1-й тип тест-моделі «зеленої» покрівлі це система «Седумний килим» Florafraim FD25, ТМ Zinco. Система екстенсивного озеленення покрівлі з низьким рослинним покриттям і висотою субстрату 60-120 мм. Модель зібрана з висотою субстрату 100мм.(рис. 2.4) [86]

- 2-й тип тест-моделі «зеленої» покрівлі це система «Запашні трави» Florafraim FD40 [119], ТМ Zinco. Система екстенсивного типу з висотою субстрату 200 мм. Модель зібрана з висотою субстрату 200мм. (рис. 2.5) [86]

- 3-й тип тест-моделі «зеленої» покрівлі це система «Сад на даху» Florafraim FD60, ТМ Zinco. При експлуатації системи «Сад на даху» має затримувати максимальну кількість опадів, щоб використовувати їх для поливу. Дренажний елемент Floradrain® FD 60 дозволяє забезпечити підпір води висотою до 40 мм, яка через капіляри і дифузію насичує вологою рослини. Модель складається з 2-шарового субстрату, 1й висотою 200мм – це системний субстрат; 2й висотою 100мм це шар цинколіту (подрібдженної рядової глиняної цегли, фракцією 5-20мм) для кращого дренажу через всю систему (рис. 2.6) [86].

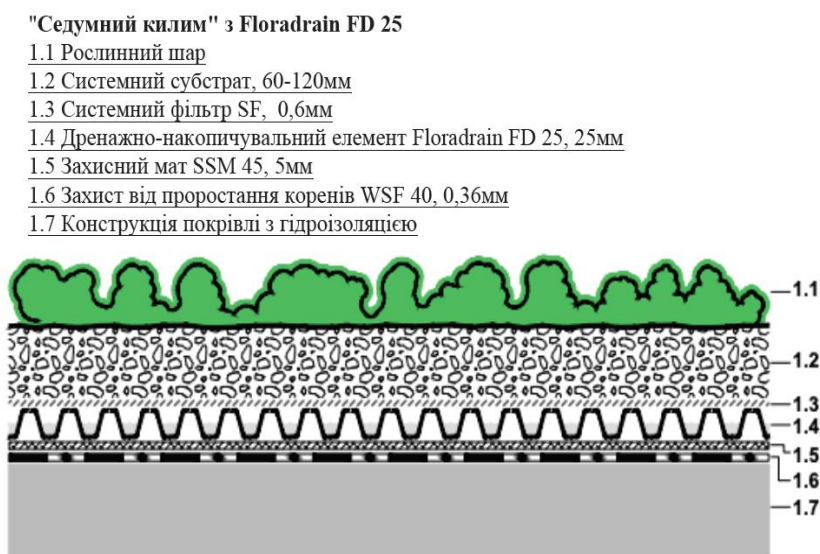


Рисунок 2.4 – Тест-моделі системи Floradrain 25 [86]

#### Газон з Floradrain FD 40

- 1.1 Рослинний шар
- 1.2 Системний субстрат, від 200мм
- 1.3 Системний фільтр SF, 0,6мм
- 1.4 Дренажно-накопичувальний елемент Floradrain FD 40, 40мм
- 1.5 Вологоутримуючий захисний мат SSM45, 5мм
- 1.6 Захист від проростання коренів WSB 100-PO, 1,1мм
- 1.7 Конструкція покрівлі з гідроізоляцією

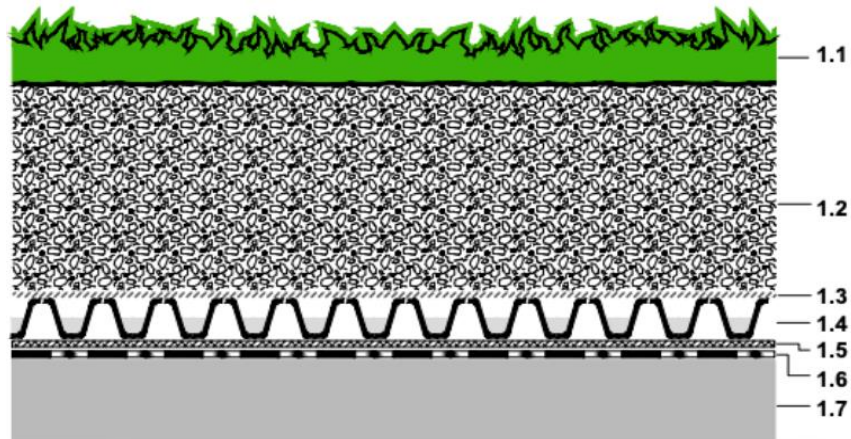


Рисунок 2.5 – Тест-моделі системи Floradrain 40 [86]

#### "Сад на даху" з Floradrain FD 60

- 1.1 Газон, багатолітні рослини, кущі і невеликі дерева
- 1.2 Системний субстрат, від 200мм
- 1.2.1 Шар "Цинколіту" (аналог битої глиняної цегли, фарфору 5-20мм) 100мм
- 1.3 Системний фільтр SF, 0,6мм
- 1.4 Дренажно-накопичувальний елемент Floradrain FD 60, 60мм
- 1.5 Вологоутримуючий захисний мат ISM50, 6мм
- 1.6 Захист від проростання коренів WSB 100-PO, 1,1мм
- 1.7 Конструкція покрівлі з гідроізоляцією

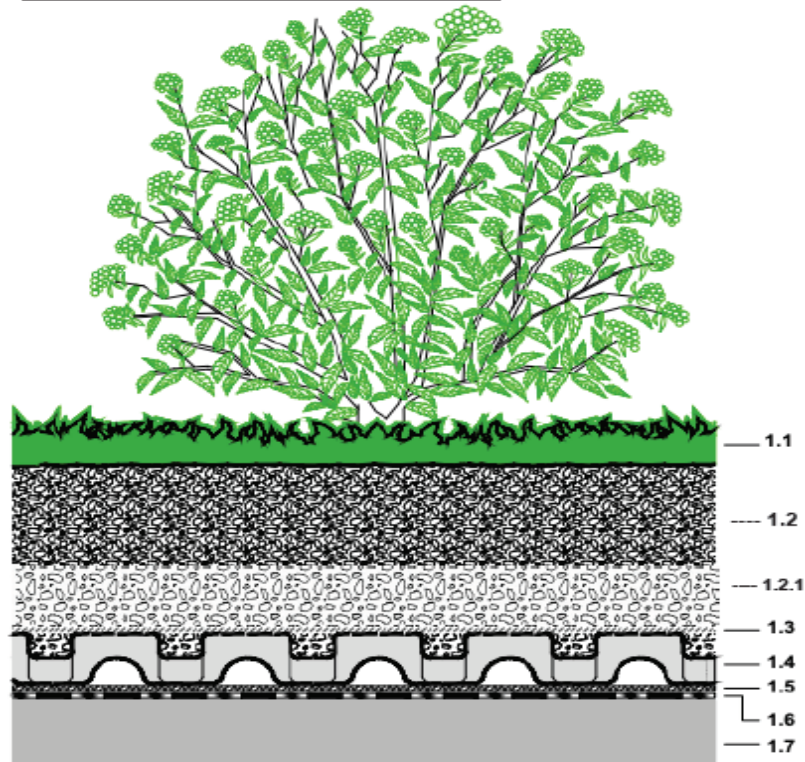


Рисунок 2.6 – Тест-моделі системи Floradrain 60 [86]



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд тест-моделей

Експеримент проводився в Жовтні-Листопаді 2022р. Площа кожної моделі  $S_m = 1\text{м}^2$ ; За час спостереження (2 місяці) та відповідно до архівними даним ЦГО кількість опадів за 2022р., вона склали  $K_r = 142,9\text{мм}$ . Тобто  $142,9\text{мм}$  опадів =  $0,1429\text{м}^3$  водних ресурсів за 60 днів.

Результати спостережень показали, що швидкість поглинання/просочування тест-моделей була різною – таблиця 2.1

Таблиця 2.1.

Моніторинг швидкості поглинання дощової води тест-моделями

1. Floradrain FD25	2. Floradrain FD40	3. Floradrain FD60
$S_m = 1\text{м}^2$	$S_m = 1\text{м}^2$	$S_m = 1\text{м}^2$
$K_r = 142,9\text{мм}$ (10.2022-11.2022)	$K_r = 142,9\text{мм}$ (10.2022-11.2022)	$K_r = 142,9\text{мм}$ (10.2022-11.2022)
$W_m = 25\text{дм}^3/\text{м}^2$ (водонакопичення)	$W_m = 68\text{дм}^3/\text{м}^2$	$W_m = 110\text{дм}^3/\text{м}^2$
$V = 1,63\text{дм}^3/\text{добу}$	$V = 0,62\text{дм}^3/\text{добу}$	$V = 1,0\text{дм}^3/\text{добу}$
(Резервуар об'ємом $18\text{дм}^3$ наповнився за 11 діб)	(Резервуар об'ємом $18\text{дм}^3$ наповнився за 29 діб)	(Резервуар об'ємом $18\text{дм}^3$ наповнився за 18 діб)



- модель №1 (Floradrain FD25) найшвидше пропускала через себе дощові опади  $V = 1,63 \text{ дм}^3/\text{добу}$ , завдяки найменшій товщі субстрату  $h_{\text{суб}} = 100 \text{ мм}$  та дренажно-накопичувальному елементу з показником водонакопичення  $W_m = 25 \text{ дм}^3/\text{м}^2$ .

- модель системи №2 (Floradrain FD40). З огляду на характеристики моделі, висота субстрату  $h_{\text{суб}} = 200 \text{ мм}$  та ємність дренажно-накопичувального мату  $W_m = 68 \text{ дм}^3/\text{м}^2$ . Дана тест-модель пропускала через себе дощові опади найповільніше  $V = 0,62 \text{ дм}^3/\text{добу}$ , тобто зменшувала навантаження на теоретичну систему дощової каналізації шляхом збільшення часу проходження дощових опадів від їх появи до тест-моделі і тільки потім до системи каналізації.

- модель №3 (Floradrain FD60). За рахунок додаткового шару (цинколіту) просочування відбувалося швидше ніж модель №2. Об'єм води який затримався в системі дорівнює  $107,3 \text{ л}$  або  $0,1 \text{ м}^3$ .

Тобто, раціональніше використовувати систему «зеленої» покрівлі за типом тест-моделі №2, але в кінцевому результаті та на практиці це залежить від конструктивних особливостей об'єкту, проєкту будівництва та побажань замовника будівництва.

Таким чином, надалі в роботі буде використана система «зеленої» покрівлі типу №2 (Floradrain FD40).

Щоб краще розуміти раціональність та доцільність використання такої системи, було прийнято рішення розробки проєкту на базі старої малофункціональної покрівлі, яка може стати прикладом реновації та покращення екосистеми міста – проєкт «зеленої» покрівлі для навчального корпусу КНУБА.

Окрім відводу надлишків дощової води з покрівель, постає питання якості цієї води. Тому в роботі проведено хімічний аналіз декількох зразків дощової води що пройшла через систему «зеленої» покрівлі.

## **2.4 Якісні(хімічні) показники дощової води після проходження через «зелену» покрівлю громадської будівлі на території житлового комплексу Києва**

На основі практичних даних, зроблено хімічний аналіз складу води яка надійшла з дощових опадів крізь систему «зеленої» покрівлі громадської будівлі та житлового будинку зі стаціонарним дахом(без «зеленої» покрівлі) в м. Києві. Додатково визначено кількісні показники ефективності баків для накопичення дощової води з “зелених” покрівель, розташованих в верхньому шарі ґрунту прибудинкової території або біля фундаментів будівель та підвальних приміщеннях.

Питання щодо повторного використання природних ресурсів посідає важливе місце в ресурсозбереженні, екологічності та зменшенні техногенного навантаження будівництва по всьому світу. Особливе значення набуває використання водних ресурсів. Вони є стратегічним, життєво важливим природним ресурсом, національним багатством кожної країни, однією з природних основ її економічного розвитку. Окрім розумного споживання потрібно сприяти зберіганню, відновленню та повторному використанню водних ресурсів. Тут «зелені» конструкції відіграють одні із провідних методів ефективних і при цьому вагомо природних систем по управлінню дощовими водними ресурсами.

Водні ресурси є стратегічними, життєво важливими природними ресурсами, що мають особливе значення. Вони є національним багатством кожної країни, однією з природних основ її економічного розвитку. Вони забезпечують усі сфери життя і господарської діяльності людини, визначають можливості розвитку промисловості, сільського господарства, й оздоровлення людей.

Якщо раніше дощові стічні води розглядалися як непотрібний міський ресурс, якого потрібно швидко позбутися за допомогою інженерних колекторних систем, то зараз підхід повністю змінено. Сьогодні дощова вода розглядається як цінний природний ресурс до якого потрібно ставитися дбайливо та раціонально

використовувати як альтернативу питної води. При очищенні дощові стічні води можна використовувати для побутових потреб: для прання, прибирання, змиву туалетів, прийняття душу, поливу декоративних та сільськогосподарських культур. У багатьох країнах дощові стічні води використовуються для охолодження повітря, що допомагає покращити мікроклімат в будівлях і позбавитися ефекту теплового острова. «Зелені» покрівлі є одним з засобів-губок у концепції «міста-губки», для природного управління дощовими водами.

Технологія «зелених» покрівель використовується для кількісного та якісного регулювання дощових стоків. Якісне регулювання дощових стоків передбачає їхню фільтрацію та вторинне використання стічних вод, завдяки чому заощаджується цінний природний ресурс – вода. Зараз “зелені конструкції” розглядаються як значуща складова зеленого будівництва та сталого розвитку урбоценозів. «Зелені» покрівлі – це багатошарова конструкція, яка складається з різних матеріалів включаючи живі рослини, шар субстрату, антикореневий захист, дренажну систему, гідроізоляцію, теплоізоляцію тощо. Певна кількість води вбирається рослинами, ще певна кількість води залишається в ґрунті, а інша частина фільтрується за рахунок спеціально влаштованих шарів конструкції під рослинами та потрапляє в накопичувальні баки для господарсько-побутових потреб.

В лабораторії вимірювання параметрів навколишнього середовища КНУБА було проведено аналіз хімічного складу води після її проходження через «зелену» покрівлю громадської будівлі (рис.2.8) а також звичайні дощові стоки з покрівлі будівлі житлового комплексу «Республіка» (рис.2.9) які надходили по стаціонарній системі дощової каналізації будинку. Забір проб води проводився в грудні 2021 р. під час опадів (дощу).

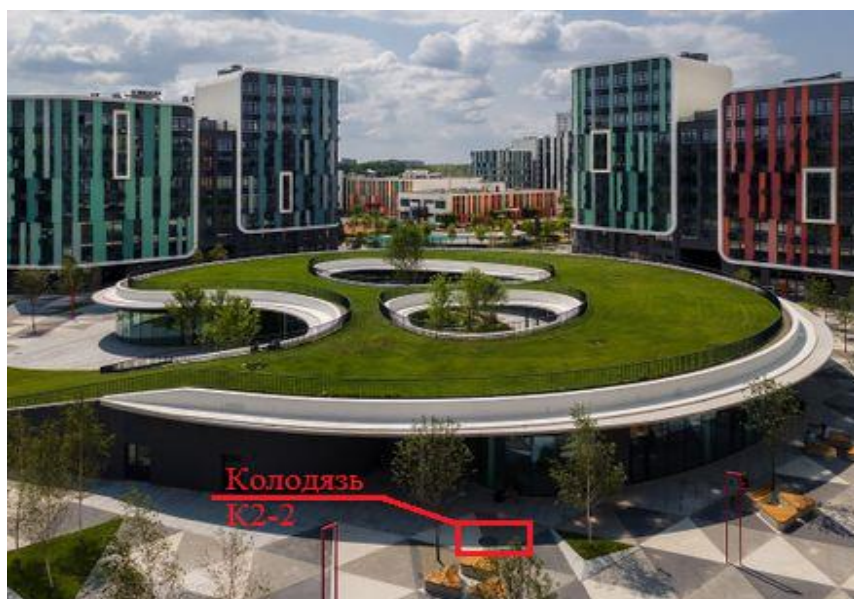


Рисунок 2.8 – Адміністративна будівля з “зеленою” покрівлею та колодязь K2-2



Рисунок 2.9 – Житловий комплекс «Республіка» з покрівлями стаціонарного типу



Забір води проводився в грудні 2021 р., під час опадів(дощу). Зразки води після зеленої покрівлі були взяті з колодязів К2-2 та К2-3 по периметру будівлі для більшої вибірки даних. Референтний зразок отримано з колодязя дощової каналізації К2 з тераси житлового будинку (рис.2.10).



Рисунок 2.10 – Житловий будинок без озеленення покрівлі та колодязь К2

Для виявлення точних показників, аналізу хімічного складу води виконано в «Лабораторії води» Київського національного університету будівництва і архітектури (табл. 2.2).



Таблиця 2.2

Результати фізико-хімічних показників зразків води з нормативними показниками СанПіН 2.2.4-171-10

Найменування	Колодязь			Нормативні показники для питної води за СанПіН 2.2.4-171-10		
	К2	К2-2	К2-3	водо-про-відної	з колодязів та каптажів джерел	фасованої, з пунктів розливу та бюветів
	Проба води					
	референтна	після "зеленої" покрівлі				
Водневий показник - рН	8,0	8,5	8,3	6,5...8,5 ( $\geq 4,5$ для газованої води)		
Загальна мінералізація (сухий залишок), мг/дм <sup>3</sup>	42,3	340,0	362,0	$\leq 1000$ ... 1500	$\leq 1500$	$\leq 1000$
Жорсткість загальна, ммоль/дм <sup>3</sup>	0,5	7,0	6,5	$\leq 7,0$	$\leq 10$	$\leq 7,0$
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	3,0	103,0	106,0	$\leq 250$	$\leq 500$	$\leq 250$
Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	0,0	0,0	0,0	$\leq 0,5$	$\leq 3,3$	$\leq 0,5$
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	0,7	1,1	0,5	$\leq 50,0$	$\leq 50,0$	$\leq 10,0$
Азот амонійний, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,0	0,4	$\leq 0,5$	$\leq 2,6$	$\leq 0,5$

Наведені в табл. 2.2 результати показують відсутність перевищень за всіма показниками для питної води згідно з СанПіН 2.2.4-171-10 [110]. Таким чином, якість води яка проходить через «зелену» покрівлю, дозволяє її використовувати для питної води, але в роботі надалі розглядатиметься використання водних ресурсів саме для технічних потреб (полив газонів, миття

тротуарів, запуск в систему водопостачання для туалетів та ін). Для цього слід проаналізувати показники витрат води житлового комплексу для поливу газонів та миття прилеглих до будинку територій, а також порівняно з кількістю опадів для цього житлового комплексу.

## **Висновки до Розділу 2**

1. Зведено існуючі практики боротьби проти затоплень та удосконалення системи дощової каналізації до загальної концепції управління дощовим стоком за допомогою «зелених» конструкцій.

2. За загальною концепцією обрано три практики для удосконалення дощової каналізації у протидії затопленням – «зелені» покрівлі, акумулюючі резервуари та проникні поверхні.

3. Визначено, що поява значного об'єму дощового стоку який може створити затоплення на прибудинкових територіях надходить з покрівель будинків. Тому на рівні дахів встановлено необхідність монтажу системи «зелених» покрівель для зниження обсягу дощових вод спрямованих до системи каналізації.

4. На етапі надходжень дощових опадів є певні результати з покращеннями в їх управлінні, але з огляду на їх загальний шлях, наступним етапом дослідження буде розгляд поверхонь автошляхів та прилеглих до них територій. Так як на площі проїзних частин виникають найбільше явищ затоплень, спричинені екстремальними дощовими опадами та відсутністю конструкцій протидії.

Це підґрунтя для вивчення та дослідження, можливої інноваційної конструкції для мінімізації, управління поверхневим стоком на таких територіях

## РОЗДІЛ 3

### ЗМЕНШЕННЯ ОБ'ЄМУ ДОЩОВИХ СТОКІВ НА КОНСТРУКЦІЯХ ДОРІГ

#### 3.1. Розроблення інноваційної системи зеленого каналу

Автошляхи та прилеглі до них території, такі як тротуари, пішохідні зони, паркувальні місця для автотранспорту, включені в будь-який проєкт будівництва. Вони мають сенс, так як в сьгоднішніх реаліях автошляхи є артеріями міст, мегаполісів та країн. Технології будівництва дозволяють будувати автошляхи в декілька рівнів через обмеженість просторових факторів, таким чином нібито заощаджуючи площу але не принцип за яким вирішиться питання управління дощовим стоком, так як площа самого дорожнього полотна буде однаковою при її горизонтальному(збільшення ширини дороги) або вертикальному(багаторівневі естакади) будівництві.

На шляху надходжень дощових опадів, об'єм поверхневого стоку який припадає на територію автошляхів є найбільшим, через те, що він включає в себе об'єм з покрівель і фасадів споруд, прибудинкових територій та безпосередній об'єм який припадає площу автошляхів.

З наведених причин, виникає гостра проблема у вирішенні, як саме управляти поверхневим стоком не допускаючи затоплень урбанізованих територій.

Згідно з загальною концепцією управління дощовим стоком є декілька практик «зелених» конструкцій. Які в тій чи іншій мірі можуть управляти стоком, але для цього необхідний комплексний підхід щоб виконувати свої проєктні функції на 100%.

В роботі увага більше приділена проникним поверхням а також розробці інноваційного каналу на основі проникних матеріалів та їх здатності просочувати воду.

Дощові опади, що утворюють поверхневий стік на площині тротуарів, пішохідних зон, паркувальних ділянок та автодоріг представляють найбільшу загрозу для в навколишнього середовища. Саме з площини де присутні автомобілі, є наявність великої кількості забруднюючих речовин, таких як мастило, залишки нафтопродуктів, речовини експлуатації автомобілів(гуми, метали, хімічні рідини та ін.), вся ця маса опиняється на дорогах та з появою опадів надходить до навколишнього середовища. В свою чергу, коли випадають опади, утворюється поверхневий стік з вулиць який контактує з вищевказаними речовинами, це викликає масштабні проблеми, від забруднення водних ресурсів та підземних вод до відкладень шкідливих речовин в ґрунті. З часом це призведе і до забруднення атмосфери, шляхом кругообігу води в природі та процесу евапотранспірації. Але перші ознаки проблем поверхневого стоку з'являються при затопленні вулиць через надмірні дощові опади та застарілі стаціонарні конструкції дощової каналізації міста які не в змозі виконувати свої функції, що також є проблемою самою по собі, застарілі каналізаційні системи необхідно не просто оновлювати новими матеріалами та прочищати, необхідно змінити парадигму управління дощовими стічними водами.

Відведення поверхневих стічних вод рекомендується забезпечувати шляхом комплексного вирішення питань організації рельєфу і влаштування відкритої або закритої систем водовідведення: водостічних труб (водостоків), лотків разом із водоприймальними решітками, дощоприймачів, кюветів, зливоприймальних колодязів, локальних очисних споруд [65].

Для візуалізації схеми конструкції було взято вулицю Чикаленка в м. Київ. Капітальний ремонт вулиці проводився в 2019-2020рр., при якому було перекладено асфальтне покриття з додаванням смуги для велосипедного руху, тротуарну бруківку, оновлення інженерних мереж (дощової-зливової каналізації), оновлено освітлення та озеленення. Для даної роботи цікаво саме проєкт конструкції дорожнього полотна та зона примикання асфальту до бордюрного каменю. На фото нижче наведено вигляд вулиці та схематичний розріз існуючої вулиці (рис. 3.1).

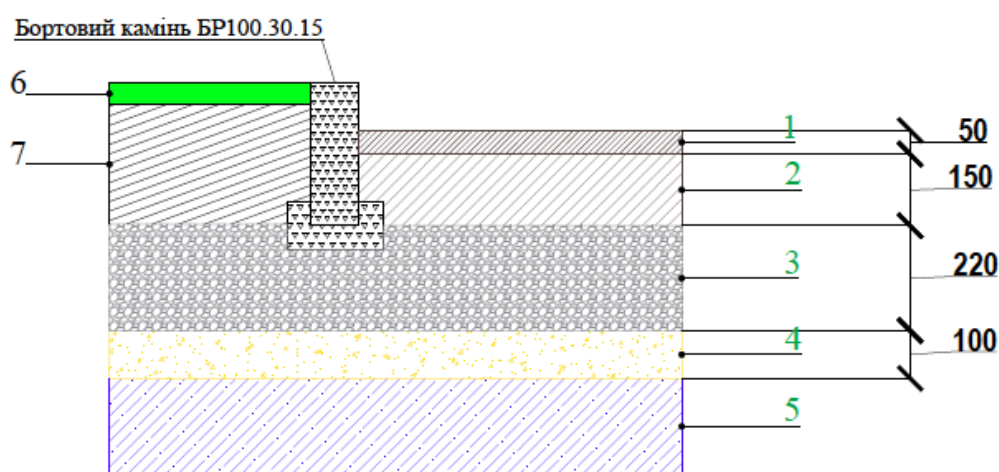


Рисунок 3.1 – Вулиця Чикаленка, м. Київ.

На рис. 3.1 помітно відсутність інноваційної або «зеленої» системи з управління дощовими стоками за винятком тротуарної бруківки, яка краще виконує функції з поглинання поверхневого стоку на відміну від непроникного дрібнозернистого асфальту (за ДСТУ Б В.2.7-119:2011) [109] яким вкрито переважну кількість тротуарів по м. Києву та по всій Україні. Так як вулиця

відновлено (після капітального ремонту) відповідно до ДБН В.2.5-75:2013[105], тобто на вулиці присутні пласкі та похилі покрівлі але відсутня «зелена» покрівля; присутня бруківка на тротуарі але його проникна здатність недостатня для боротьби всього стоку який з'являється як на поверхні самого тротуару так і в додаток ще стік з покрівель.

Конструкційний розріз дорожнього полотна існуючої (застарілої) вулиці Чикаленка має наступний вигляд (рис.3.2):



- 1 - асфальтобетон дрібнозернистий, щільний ДСТУ Б В.2.7-119:2011,  $h=0.05\text{м}$   
 -розлив бітумної емульсії  $0,4\text{л/м}^2$   
 2 - асфальтобетон крупнозернистий, щільний ДСТУ Б В.2.7-119:2011,  $h=0.15\text{м}$   
 -розлив бітумної емульсії  $0,4\text{л/м}^2$   
 3 - щебнево-піщана суміш ІППС фракції 0-70мм  $h=0.22\text{м}$   
 4 - пісок дрібнозернистий природний за ДСТУ Б В.2.7-32-95  $\rho=1,63\text{т/м}^3$ ,  $h=0.10\text{м}$   
 5 - грунт ущільнений (без росл. залишків та буд. сміття)  $\rho=1,62\text{т/м}^3$   
 6 - рослинний покрив (газон)  
 7 - родючий шар ґрунту  $h=0.25\text{м}$

Рисунок 3.2 – Конструкційний розріз дорожнього полотна існуючої (застарілої) вулиці Чикаленка

Повертаючись до управління зливовими водами в даній конструкції поверхневий стік прямує по схемі:

з покрівлі → на тротуар → по стаціонарним каналам на проїзду частину (асфальт) → до дощоприймача (верхня частина перекриття дощоприймального

колодязя, що складається з корпусу і решітки (згідно з ДСТУ Б В.2.5-26 (ГОСТ 3634) [100] або вертикальний отвір у бордюрному камені, або водовідвідний лоток згідно з ДСТУ EN 1433) [106], підключений до верхньої частини дощоприймального колодязя) → дощоприймального колодязя → до дощової системи каналізації → до очисних споруд/водного об'єкту.

Схема представляє собою стаціонарну систему якій багато років, в ній недолік дуже показовий, а саме об'єм води (дощові опади) надходять в кінцевому результаті до водних об'єктів такі як річка, озеро, море, водосховище, ставок, канал, водоносний горизонт при цьому на своєму шляху змивають шкідливі речовини розташованих на поверхні вулиць. А тому, саме через шкідливі речовини відбувається негативний вплив на довкілля.

Проаналізувавши цей шлях поверхневого стоку, постало питання, як саме можна зменшити вплив на довкілля за допомогою «зелених» конструкцій на поверхні асфальтної частини (проїзної та пішохідної).

В даному розділі увага приділена проблемі дощових стічних вод саме на поверхні дорожнього полотна (пішохідних та автомобільних зон). Запропонований інноваційний проєкт з управління дощовим поверхневим стоком, з функціями поглинання, утримування, фільтрування та спрямуванням стоку до дощової каналізації міста.

Розробка інноваційного дренажного «зеленого» каналу полягала в тому щоб поглинати дощовий стік на місці його появи, фільтруючи воду від шкідливих речовин і далі спрямування залишків стоку до існуючої стаціонарної системи зливової каналізації.



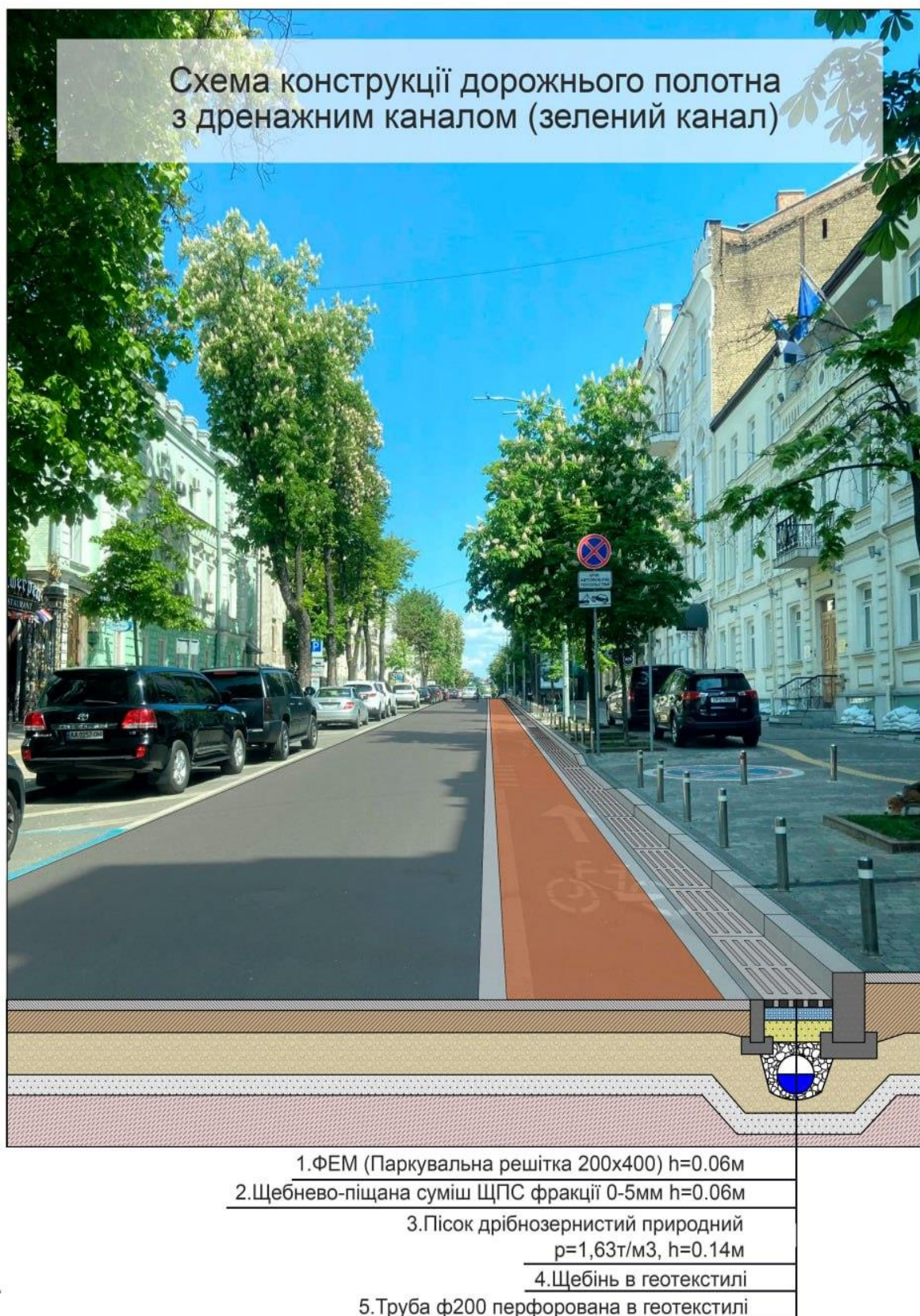


Рисунок 3.3 – Візуалізація компоновки «зеленого» дренажного каналу на вулиці Чикаленка в м. Київ



Конструкція інноваційного «зеленого» дренажного каналу складається з декількох простих шарів, які стандартно використовуються при будівництві/ремонті доріг/вулиць/тротуарів: перфорована труба – геотекстиль – щебінь – пісок – гравій – ФЕМ(водопроникна бруківка).

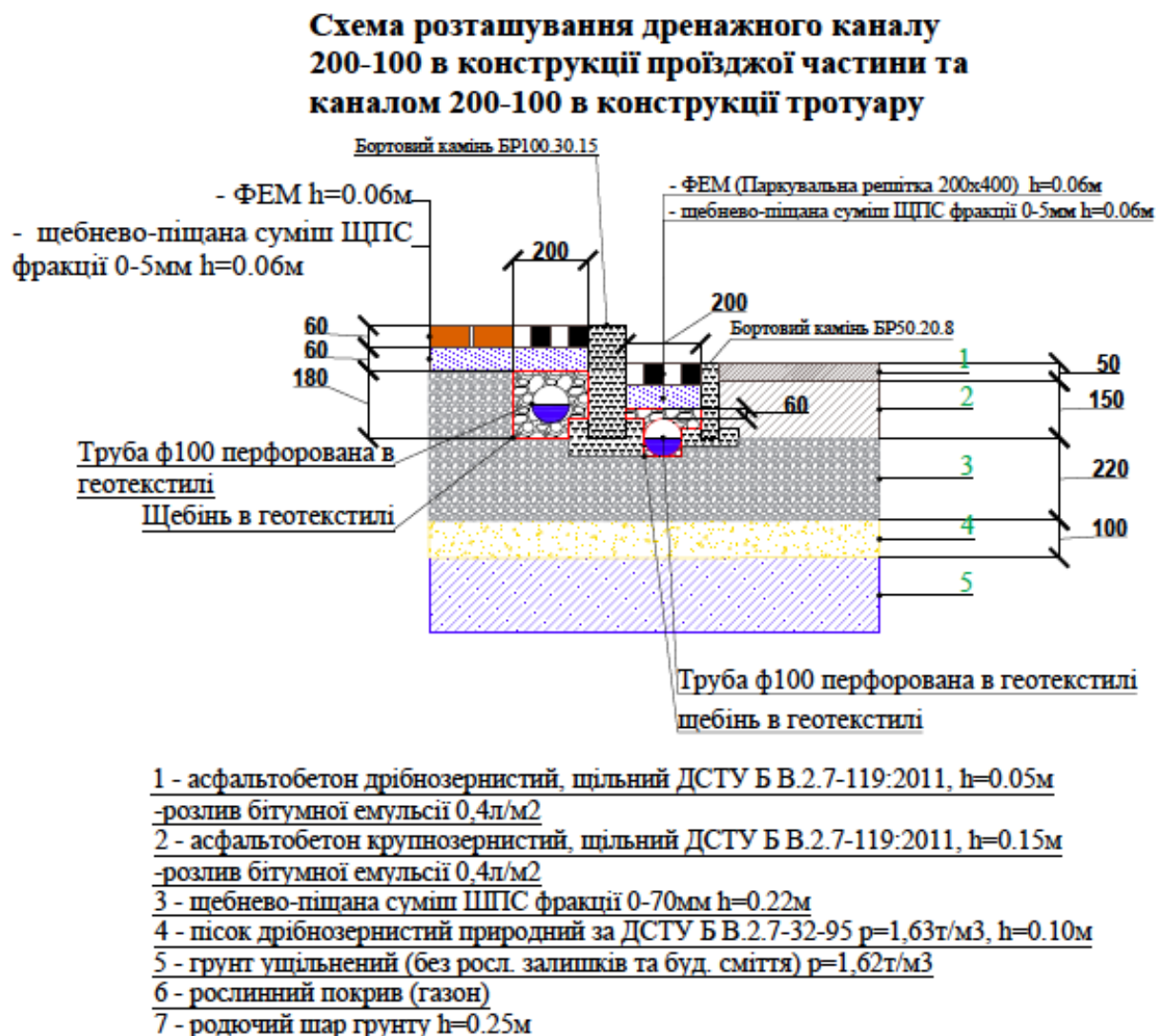


Рисунок 3.4 – Схема розрізу «зеленого» каналу.

Головна мета «зеленого» дренажного каналу боротися з надлишковим об'ємом дощової води та шкідливими речовинами які містяться в ньому (рис. 3.5). За допомогою конструкції та матеріалів з якого складається канал, а саме:

- паркувальна решітка ФЕМ – дає змогу приймати об'єми поверхневого стоку на просочувати його далі до прошарку гравію/ЩПС. Виконує функцію дорожньої бруківки тобто експлуатації її пішоходами та автотранспортом;

- щебенево-піщана суміш (ЩПС) фракції 0-5мм – основа під монтаж паркувальної решітки, дозволяє зберігати несучу здатність конструкції від експлуатуючих чинників;

- пісок дрібнозернистий природний  $\rho=1,63\text{т/м}^3$  – виконує основну функцію фільтрування та очищення поверхневого дощового стоку;

- щебінь фр.10-20мм – основна мета підтримувати конструкційні навантаження а також швидке просочування водних ресурсів та спрямування їх до дренажної труби;

- труба ПВХ дренажна перфорована  $\phi 100-200$  – спрямовує надходженні об'єми поверхневого дощового стоку до каналізаційних колодязів та системи дощової каналізації міста. Забезпечує стійкість конструкції проти підмивання дорожнього полотна та його можливого руйнування.



Рисунок 3.5 – Об'єм дощового стоку та проява забруднюючих речовин в ньому на вулиці Кільцевій м. Києва

### 3.2 Дослідження роботи «зеленого» каналу шляхом експерименту та екстраполяції (практичний)

Для визначення показника роботи інноваційного «зеленого» дренажного каналу проводився експеримент з проливанням системи. Прораховувалась його показники ефективності, а саме швидкість та об'єм дощового стоку який має проходити крізь канал до стаціонарної зливової системи.

«Зелений» дренажний канал, розроблений для зменшення та нейтралізації дощових опадів з дорожнього полотна (проїзної-пішохідної частини) вулиць міста. Канал базується на декількох шарах та дренажної перфорованої труби, а саме: 1 – труба ПВХ дренажна перфорована  $\phi 100-200$ ; 2 – голкопробивний геотекстиль 100-200г/м<sup>2</sup>; 3 – щебінь фр.10-20мм; 4 – пісок дрібнозернистий природний  $\rho=1,63\text{т/м}^3$ ; ЩПС( щебенево-піщана суміш) фр. 0-5мм; ФЕМ (паркувальна решітка)

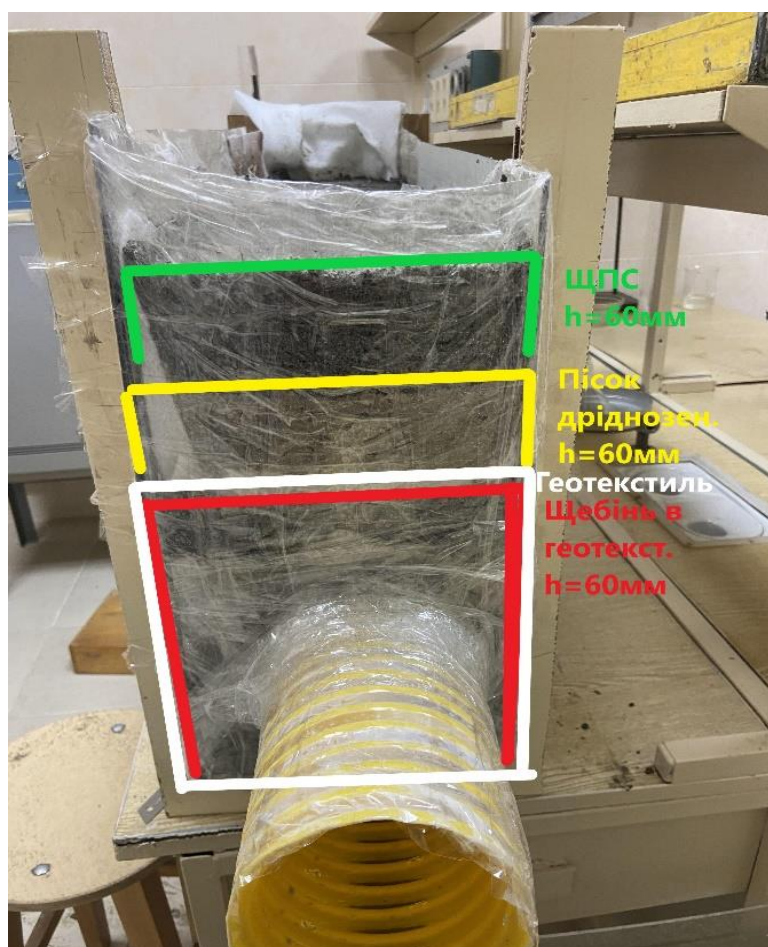


Рисунок 3.6 – Експериментальна модель «зеленого» каналу у розрізі шарів



Побудовано модель експериментального каналу (рис.3.6), довжиною  $L=1000\text{мм}$ , та шириною  $B=200\text{мм}$ ; Розшарування по висоті: труба дренажна перфорована  $\phi 100$  в геотекстилі; Шар щебню в геотекстилі розташованого під  $h=30\text{мм}$  та над трубою  $h=60\text{мм}$ ; шар піску  $h=60\text{мм}$ ; шар ЩПС  $h=60\text{мм}$ .

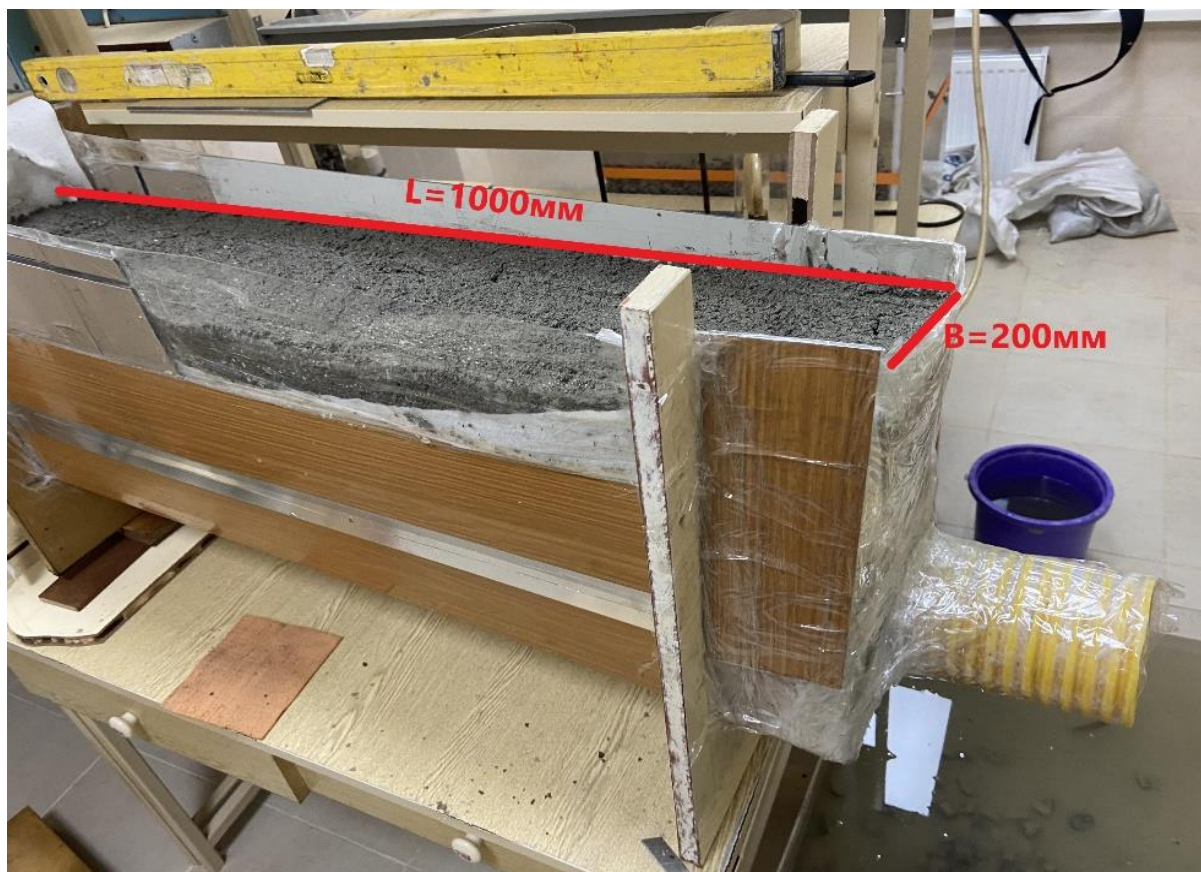


Рисунок 3.7 – Модель експериментального «зеленого» дренажного каналу

Експеримент проводився в 3 спроби, шляхом проливання системи водою. На кожній спробі об'єм води  $V=8\text{дм}^3$ ; час надходження  $8\text{дм}^3$  води становила  $t_n=10\text{с}(0,16\text{хв})$ ; рівень води на площі каналу становив  $C_{\text{поч}}=30\text{мм}$ ; час проходження/поглинання води каналом  $T_{\text{пр}}=4\text{хв}$ ;

Дані щодо опадів в м.Київ від 20.06.2023: загальна кількість опадів склала  $K_o=37,3\text{мм}$ ; найбільша інтенсивність дощу склала  $1,28\text{мм/хв}$  (при такій інтенсивності дощ тривав  $10\text{хв}$ ); тривалість дощу  $t_d=376\text{хв}$  або  $6,26\text{год}$  (з 12:56 год до 19:12год).

Щоб отримати дані щодо показників роботи системи (табл.3.1), необхідно прорахувати за який час система здатна пропустити/поглинути воду, та співставити ці дані з показниками природних дощових опадів як приклад, опади від 20.06.2023р. під час залпової зливи.

Таблиця 3.1

Показники роботи «зеленого» дренажного каналу з екстрапольованими показниками

Площа каналу	Об'єм води, який надійшов	Час, за який надходить вода	Рівень води, який утворюється на поверхні каналу	Час проходження/поглинання через канал	
S=0,2 м <sup>2</sup>	<b>8дм<sup>3</sup></b>	<b>10с</b>	<b>30мм</b>	<b>4хв</b>	<b>Дані з'ясовані шляхом проливу системи (3 спроби)</b>
	0,8дм <sup>3</sup>	1с	3мм	0,4хв(24с)	Дані розраховані шляхом екстраполяції
	48дм <sup>3</sup>	60с	180мм	24хв(1440с)	
	480дм <sup>3</sup>	600с	1800мм	240хв(14440с)	
	<b>2дм<sup>3</sup></b>	<b>2,5с</b>	<b>7,5мм</b>	<b>1хв</b>	

Таблиця 3.2

Показники роботи каналу відповідно до значень кількості опадів від 20.06.2023

Площа каналу	Об'єм води, який надійшов	Час, за який надходить вода	Рівень води, який утворюється на поверхні дорожнього полотна	
S=1м <sup>2</sup>	37,3дм <sup>3</sup>	376хв	37,3мм	Всього опадів за 20.06.2023
	<b>1,28дм<sup>3</sup></b>	<b>1хв</b>	<b>1,28мм</b>	<b>Макс. Значення інтенсивності</b>
	0,95дм <sup>3</sup>	1хв	0,095мм	Середнє значення інтенсивності

Таблиця 3.3

Показники роботи каналу до погодних умов в % відношенні

	Значення, дм <sup>3</sup>	Значення 1, %	Значення 2, %	Показник ефективності 1	Показник ефективності 2
Природні умови	1,28	100,00	<b>64,00</b>	<b>1,56</b>	<b>1,56</b>
Експериментальна система	2	<b>156,25</b>	100,00		

Розрахункові величини прошарків каналу підбираються в залежності від місця застосування (I – швидкісні дороги; II – магістралі загальноміського і районного значення; III – дороги місцевого значення: житлових, промислових і складських районів, проїзди; IV – пішохідні дороги.) (Див. схему дренажного зеленого каналу).

Водопроникність в свою чергу це здатність ґрунту пропускати воду. Вода рухається по порах ґрунту головним чином під впливом гравітаційних сил та різниці напорів. Кількісно водопроникність характеризується коефіцієнтом фільтрації ґрунту  $K_f$ , що являє собою швидкість фільтрації при гідравлічному градієнті  $i=1$ . За законом Дарсі кількість (витрата) води  $Q$  (см<sup>3</sup>), що протікає через поперечний переріз площею  $F$  (см<sup>2</sup>), протягом часу  $T$  (с), визначається за такою формулою:

$$Q = K_f \cdot F \cdot T \cdot i, \text{ см}^2 \quad (3.1)$$

де  $K_f$  - коефіцієнт фільтрації (водопроникності).

Швидкість фільтрації:

$$V = Q / (F \cdot T) \quad (3.2)$$

звідки

$$V = K_f \cdot i \quad (3.3)$$

Швидкість фільтрації прямо пропорційна гідравлічному градієнту. Розмір  $K_f$  визначається наступних одиницях: см/с, м/доб, см/рік тощо, та за однакових

умов залежить головним чином від пористості, діючого тиску, гранулометричного складу ґрунту.

Коефіцієнт фільтрації входить майже в усі гідрогеологічні розрахунки. Визначають його різними методами, в залежності від необхідної точності. Приблизну величину  $K_f$  можна визначити з таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

## Фільтраційні властивості ґрунтів

Назва породи	Коефіцієнт фільтрації $K_f$ , м/добу
Суглинок	0.05
Супісок	0.1 ... 0.5
Лес	0.05 ... 0.5
Пісок пилуватий	0.5 ... 1.0
<b>Пісок дрібнозернистий</b>	<b>1.0 ... 5.0</b>
Пісок середньозернистий	5.0 ... 20
Пісок крупнозернистий	20 ... 50
<b>Гравій</b>	<b>50 ... 150</b>
Галька	100 ... 1000

В нашому випадку, обираємо середнє значення  $K_f=3,5$ м/добу ( $K_f=14,6$ см/год; 2,4мм/хв.) для дрібнозернистого піску.

Тоді за формулою 3.3 швидкість фільтрації для дрібнозернистого піску буде дорівнювати:

$$V = 14,6 \cdot l = 14,6 \text{ см/год}$$

$$(V = 2,43 \cdot l = 2,43 \text{ мм/хв})$$

Враховуючи найвищу пікову інтенсивність опадів за 2021р., та 2022р. 0,56мм/хв. та 0,90мм/хв. відповідно, ефективність «зеленого» каналу складатиме:

2021р. – за пропускної здатності каналу 2,43мм/хв., об'єм опадів при інтенсивності 0,56мм/хв., ефективність системи складатиме 433% (0,56 – 100%; 2,43 –  $x$ ,  $x = (100 \cdot 2,43)/0,56 = 433,92\%$ ); Показник роботи 4,33.

2022р. – за пропускної здатності каналу 2,43мм/хв, об'єм опадів при інтенсивності 0,90мм/хв, ефективність системи складатиме 270% (0,90 – 100%; 2,43 –  $x$ ,  $x = (100 \cdot 2,43)/0,90 = 270\%$ ); Показник роботи 2,7.

Результати показника роботи потрібно враховувати з поправкою на те, що значення інтенсивності взяті пікові, тобто опади в середньому за добу менші.

### **3.3 Розрахунок роботи «зеленого» каналу на прикладі Повітрофлотського проспекту в Києві**

Необхідно розглянути теоретичне застосування «зеленого» каналу, його показників роботи. Для цього обрано за приклад Повітрофлотський проспект в м. Києві. А саме ділянку від Берестейського проспекту до Севастопольської площі.

Розташування дренажного «зеленого» каналу планується встановлювати вздовж бордюрного каменю на переважній довжині проспекту по обидва боки. З врахуванням, що до проспекту йдуть примикання пішохідних переходів, перехресть та інших вулиць, тому їх довжина буде меншою за довжину ділянки(проспекту). Для розрахунку візьмемо довжину каналу відповідно до показнику роботи каналу з розрахунків наведених в Розділі 3.2.



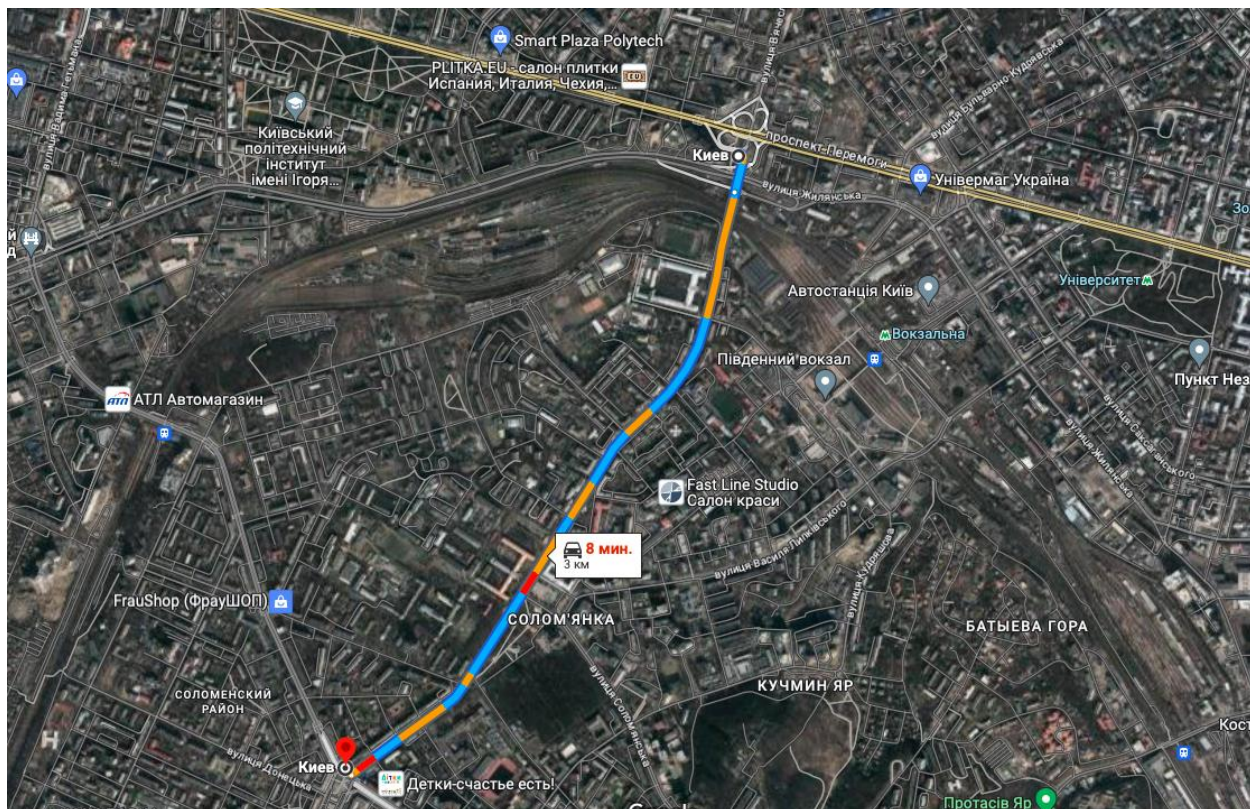


Рисунок 3.8 – Повітрофлотський проспект (дослідна ділянка)

Ділянка проспекту довжиною  $L_{\partial}=3000\text{м}$ , шириною  $B_{\partial}=18\text{м}$ , площа

$$S_{\partial} = 3000 \cdot 18 = 54\,000 \text{ м}^2 (5,4\text{га})$$

Тобто показник  $K_{e\partial}=1,56$  (при залповій зливі від 20.06.2023);

Тоді довжина каналів:

$$L_{\kappa} = L_{\partial} / K_{e\partial}, \text{ м} \quad (3.4)$$

$$L_{\kappa} = 3000 / 1,56 = 1923, \text{ м}$$

Але «зелений» дренажний канал необхідно монтувати по обидва боки проїзної частини, тому довжина  $L_{\kappa} = 1923 \cdot 2 = 3846\text{м}$

Оскільки експеримент проводився з моделлю каналу шириною 200мм, то для цього розрахунку також приймемо ширину каналу  $B_{\kappa} = 0,2\text{м}$ .

Площа дренажного каналу (площа поглинаючої частини яка буде на себе приймати об'єм дощового стоку):

$$S_{\kappa} = L_{\kappa} \cdot B_{\kappa}, \text{ м}^2 \quad (3.5)$$

$$S_{\kappa} = 3846 \cdot 0,2 = 769,2, \text{ м}^2$$

### - Методика розрахунку стоку за ДБН

Загальний об'єм дощових вод, що стікають з території водозбірних басейнів,  $Wg$ , м<sup>3</sup>, обчислюють за формулою:

$$Wg = 10 \cdot hg \cdot Y \cdot F \quad (3.6)$$

де,  $hg$  – шар опадів за теплий період року (дані метеопункту), мм;

$Y$  – коефіцієнт стоку;

$F$  – площа басейну водозбору, га.

Розраховуючи об'єм дощових стічних вод, за коефіцієнт стоку беруть середнє значення коефіцієнтів, що їх визначають для поверхонь різних видів чи населених пунктів у цілому.

Значення  $Y$  для водозбірного басейну визначають як середньо-зважене для всієї площі, враховуючи середні значення коефіцієнтів стоку поверхонь різних видів, які становлять:

для водонепроникних поверхонь – 0,6—0,8;

для ґрунтових поверхонь – 0,2;

для газонів – 0,1.

Значення  $Y$  приймаємо для асфальтованих доріг (водонепроникних поверхонь) середнє значення – 0,7.

Для розрахунку об'єму поверхневого стоку беремо архівні дані кількості опадів за 20.06.2023р., так як тоді при залповій зливі спостерігалися підтоплення вулиць по всьому Києву. За даними метеорологічної станції Києва, загальна кількість опадів становила  $hg = 37,3$  мм, з піковою інтенсивністю 1.28 мм/хв. Тривалість дощу  $t_d = 376$  хв або 6,26 год (з 12:56 год до 19:12 год).

Тоді за формулою 3.6 об'єм поверхневого стоку  $Wg$  буде дорівнювати:

$$Wg = 10 \cdot 37,3 \cdot 0,7 \cdot 5,4 = 1409,94 \text{ м}^3.$$

Маємо  $Wg = 1409,94 \text{ м}^3$  – це об'єм дощових опадів який припав на площу проспекту Повітрофлотський, тільки на проїзду асфальтовану частину, без врахування стоку який надходить з прилеглих територій (тротуари, покривель

споруд). Саме таке навантаження в розмірі  $1409\text{м}^3$  води приймають на себе дощоприймальні колодязі які розташовані кожні 40м згідно з п.8.10.6 [105] таблиці 3.5:

Таблиця 3.5 – Відстань між дощоприймальними колодязями [105]

Уклон вулиці	Відстань між дощоприймальними колодязями, м
До 0,004 включ.	50
Більше ніж 0,004 до 0,006 включ.	60
Більше ніж 0,06 до 0,01 включ.	70
Більше ніж 0,01 до 0,03 включ.	80
Більше ніж 0,03	90

\*Примітка 1. За наявності внутрішньоквартальної дощової мережі зазначені відстані між дощоприймальними колодязями можна збільшувати в 1,5-2 рази за умов: розташування їх на водорозділах та в лотках доріжок бульварів і скверів або на проїзній частині вулиці.

\*Примітка 2. При повздовжніх уклонах вулиць більше 0.05 перед перехрестями з боку припливу поверхневих вод, а також на прямих ділянках вулиць, через 300 м - 400 м улаштовуються дощоприймальні колодязі посиленої приймальної здатності (подвійні ґрати, колодязі спеціальної конструкції, колодязі з дощоприймачами у вигляді лотків згідно з 8.10.2 тощо).

Які в свою чергу приєднані до дощової системи каналізації а та в свою чергу до очисних споруд/водного об'єкту.

З експерименту маємо значення, що за 1хв канал площею  $0,2\text{м}^2$  здатен пропустити/поглинути  $2\text{дм}^3$  води. Тоді,  $1\text{м}^2$  дренажного каналу здатен поглинути  $10\text{дм}^3$  /хв дощового стоку.

Наш об'єм дощового стоку  $V_{nc} = 1409,9\text{м}^3$  за час  $t_d = 376\text{хв}$  або 6,26год (з 12:56 год до 19:12год) дощу надійде на площу теоретичного дренажного каналу

$S_k = 769,2$ , м<sup>2</sup> встановленого вздовж бордюрів на проспекті, то на 1 м<sup>2</sup> площі каналу буде припадати 1,83 м<sup>3</sup> дощового стоку.

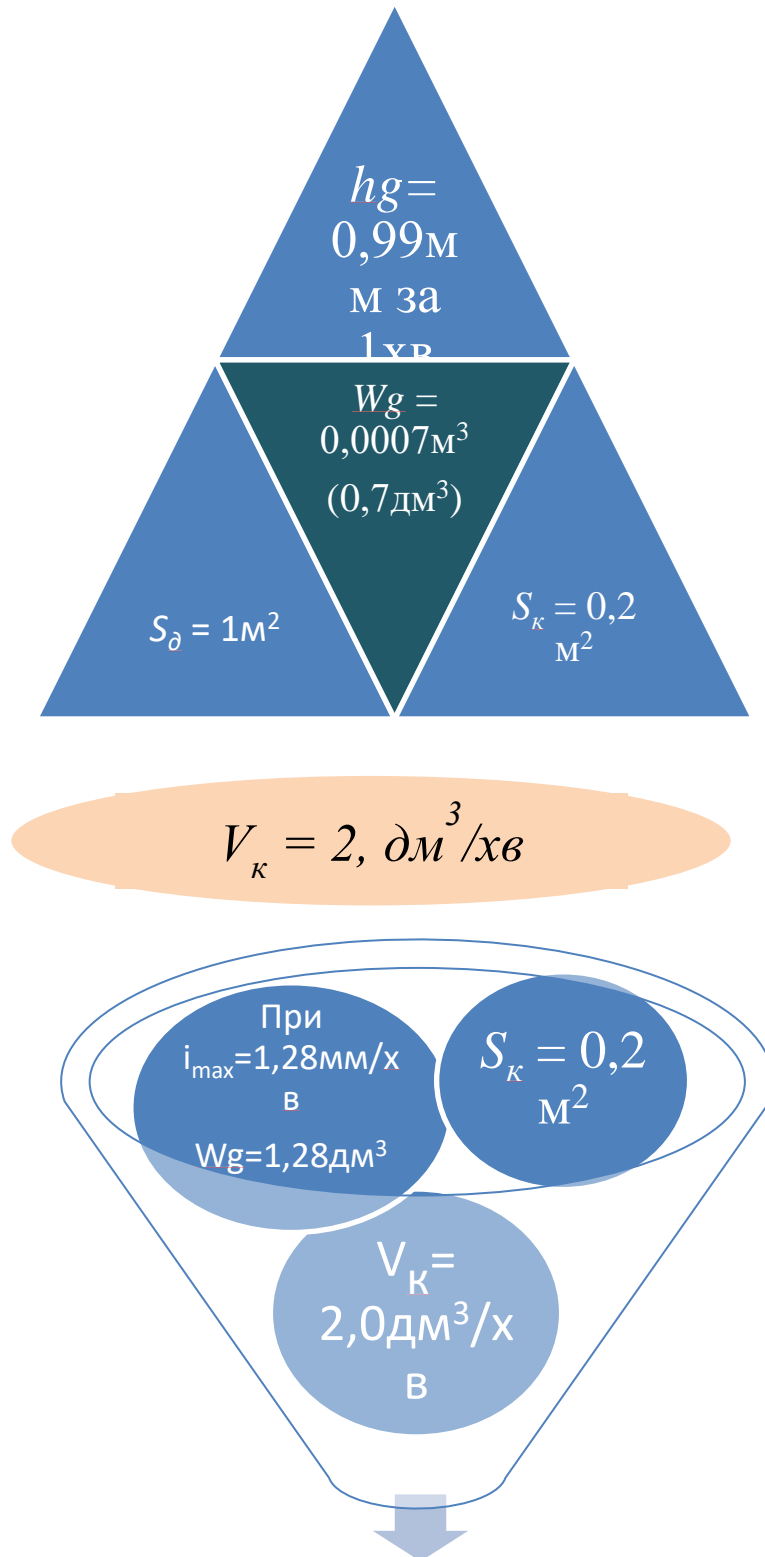


Рисунок 3.8 – Показники роботи приведені до одиничних значень

«Зелений» канал поглине об'єм дощу інтенсивністю 1,28мм/хв. за 38,4с (0,64хв) з площі дороги. Без врахування тротуарів та паркувальних місць.

Але, слід врахувати, що ми взяли довжину каналів в 1,56 разів меншу за довжину проспекту за рахунок показнику роботи каналу. Адже якщо розраховувати більшу довжину каналів та більшу їх площу, ефективність буде вищою.

Слід врахувати, ми взяли довжину каналів в 1,56 разів меншу за довжину проспекту та шириною 200 мм. Адже якщо розраховувати більшу довжину каналів та більшу їх площу, ефективність буде іншою.

Розроблений канал слід вважати доповненням до системи каналізації К2, та не відкидати стаціонарні системи відводу поверхневого стоку як дощоприймальні решітки

Теоретичний експеримент показав, окрім часу поглинання дренажним «зеленим» каналом об'єму поверхневого стоку з Повітрофлотського проспекту, це також фактор нейтралізації шкідливих речовин які містяться в стічних дощових водах з автодоріг, шляхом проходження через шари ЩПС, піску, геотекстилю та щебню, в яких осідають, затримуються та зменшується концентрація забруднюючих мас, а до каналізаційної системи надходять більш нейтральні та очищенні дощові води, які мають менший негативний вплив на навколишнє середовище.

Система площею 0,2м<sup>2</sup> в експериментальних умовах здатна поглинати воду зі швидкістю 2дм<sup>3</sup>, в той час як за природних умов (дощу) інтенсивність опадів складає 1,28мм/хв на 1м<sup>2</sup> площі. Показник роботи, швидкості поглинання системи дорівнює 1,56.

Рекомендуються застосування даної моделі в реальних умовах, а саме провести як пілотний проєкт при ремонті/реконструкції вулиці Києва, для збору більшої інформації та недоліків системи.

Дану систему вже представлено будівельній компанії «KAN DEVELOPMENT», підписано акт впровадження для реалізації даної системи на реальному об'єкті будівництва. Реалізація запропонована в якості пілотного

проєкту, для збору емпіричних даних ефективності системи в реальних умовах за різних погодних умов протягом відведеного часу.

В містах та містечках по всьому світу окрім автошляхів, є супутня інфраструктура для автомобілів, а саме парковки та паркувальні місця. Вони займають досить значні площі, які зазвичай побудовані з асфальту, що в свою чергу мають водопроникні характеристики на рівні 0 (нуль). А тому, на таких площах необхідно робити акцент на раціональному водовідведенню уникаючи затоплень.

### **3.4 Розрахунок утриманого поверхневого стоку на поверхні паркувальних ділянок міста Києва за допомогою паркувальної «зеленої» бруківки**

Проблема скупчення надмірних обсягів дощових опадів полягає в нерівномірному розподілі між водопроникною та водонепроникною поверхнею. Дотримуючись комплексної програми розумного управління стічними водами, слід звернути увагу на масштабну територію, яку слід перетворити з переважно асфальтованої і водонепроникною площі на зелені ділянки, які зможуть прийняти певні обсяги дощових стічних вод – місця для автопаркувальних місць. У світі вже є глобальний тренд на зелені парковки.

Ідея полягає в тому, щоб замінити старе асфальтне покриття, яке технологічно та морально застаріле, на паркувальну бетонну/переробленого пластику плитку/решітку. Яка має здатність пропускати воду, а також вона вкрита трав'яним покривом, що додає додатковий позитивний ефект в температурному режимі міста (завдяки меншому нагріванню, зменшує так званий тепловий острів)

Паркувальні ділянки під автотранспорт в місті займають суттєву територію, таким чином потенційно спричиняючи велику площу водонепроникної поверхні. Це загрозлива екологічна проблема, оскільки вона може збільшити рівень і швидкість зливого стоку, шляхом надмірного

надходження дощових опадів та переносу забруднюючих речовин до прилеглих водойм що є негативною складовою для навколишнього середовища та довкілля. Збільшення об'єму поверхневого стоку також призводить до раптових повеней та затоплень вуличних локацій міста і впливає на існуючу дощову систему каналізації. Таким чином, протягом останніх десятиліть з'явилась необхідність у вирішенні даного питання та впроваджено водопроникні стоянки які привернули велику увагу до ефективного управління зливовими водами в міських районах. Проникні стоянки пропонують різноманітні екологічні переваги, включаючи зменшення стоку, покращення інфільтрації, затримку часу для пікового потоку дощових опадів.

В цьому розділі увага зосереджена на паркувальних місцях м. Києва, а саме на їх кількості, якості виконання та теоретичного поверхневого стоку який вони в змозі прийняти та нейтралізувати.

Київ має всі дані для того щоб втілити цю практику в реальність. Згідно даних Департаменту інфраструктури м. Києва, наказ про перелік відведених майданчиків для паркування транспортних засобів від 2021р., площа території виділеної для паркування в м. Київ.

За підрахунками додатку до вищевказаного наказу, кількість машиномісць по всім 10-ти районам Києва (Голосіївський – Дарницький – Деснянський – Дніпровський – Оболонський – Печерський – Подільський – Святошинський – Солом'янський – Шевченківський) склала 14395 шт, а площа одного машиномісця  $S_{мм} = 15\text{м}^2$

$$S_{мм} = A_{мм} \cdot B_{мм}, \text{ м}^2 \quad (3.7)$$

$$S_{мм} = 3 \cdot 5 = 15\text{м}^2$$

Сумарна площа всієї кількості машиномісць згідно наказу буде складати:

$$S_{см} = S_{мм} \cdot n_{мм}, \text{ м}^2 \quad (3.8)$$

$$S_{см} = 15 \cdot 14395 = 215\,925, \text{ м}^2$$

де:

$S_{мм}$  = площа машиномісця,  $\text{м}^2$

$n$  = кількість машиномісць, га

Розрахунок об'єму поверхневого стоку  $W_{g_{пм}}$ ,  $m^3$ , проведемо методом з попереднього розділу, за формулою:

$$W_{g_{пм}} = 10 \cdot hg \cdot Y \cdot F \quad (3.6)$$

де:

$hg$  – середньомісячний шар опадів за 2022р. – 44,18мм (згідно даних ЦГО);

$Y$  – коефіцієнт стоку – 0,7;

$F$  – площа басейну водозбору – 21,59га ( $S_{мм} = 215925m^2 = 21,59га$ ).

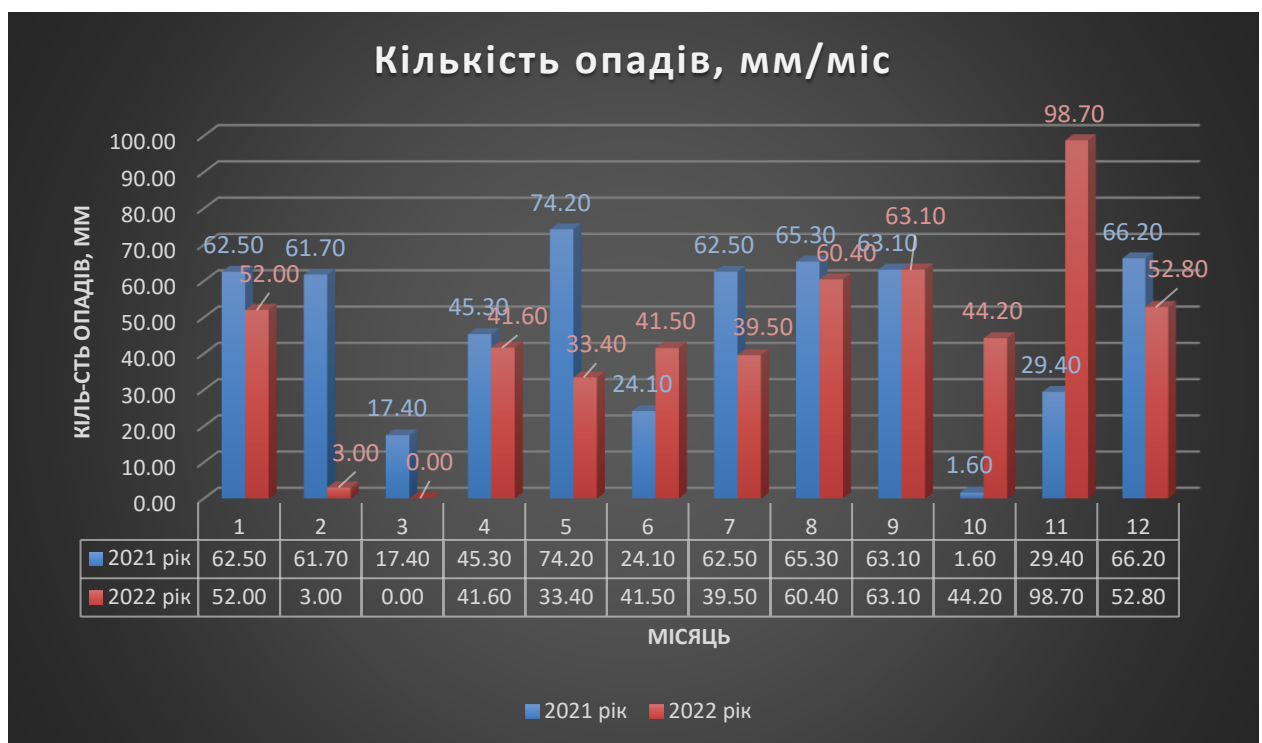


Рисунок 3.9 – Архівні дані ЦГО кількості опадів в Києві

Виходячи з даних (рис.3.9) та за формулою (3.6), тоді:

$$W_{g_{пм}} = 10 \cdot 44,18 \cdot 0,7 \cdot 21,59 = 6676,92m^3.$$

Об'єм поверхневого стоку на площі паркувальних місць м. Києва складає  $6676,92m^3$  в середньому на місяць, який через водоНепроникну поверхню – асфальт, так як переважно саме асфальтним покриттям вкриті паркувальні ділянки – надходить до системи дощової каналізації.



Дану проблему з водонепроникною поверхнею паркувальних ділянок можливо впоратися за допомогою «зелених» конструкцій.

А саме, використання паркувальної бруківки (рис.3.9). Завдяки своїй конструкції, має здатність витримувати необхідне навантаження від автомобілів, а також плитка має функції дренажу, що в умовах міста під час опадів спрямує весь дощовий стік який припав на її площу – буде поглинутий.



Рисунок 3.10 – «Зелена» паркувальна бруківка/решітка

А за підрахунками вищевказаними, об'єм ( $6676,92\text{м}^3$ ) не потрапить на дороги, а отже не буде додатково забруднений речовинами які присутні на автошляхах від експлуатації автомобілів. Цей об'єм буде поглинутий площею паркувальної ділянки та спрямований у ґрунт з послідуочим шляхом до ґрунтових вод.

В умовах міста Києва який має площу  $851,2\text{ км}^2$  ( $85\ 120\text{га}$ ), ефективність системи «зелених» паркувальних ділянок ( $S_{mm} = 21,59\text{га}$ ) у % співвідношенні буде дорівнювати  $0,025\%$ . Але необхідно зауважити те, що це площі офіційних паркувальних майданчиків, без врахування ділянок які знаходяться на приватних

територіях житлових, комунальних або комерційних будівель, а також співвідношення паркувальних ділянок до всієї площі Києва а не окремо площі автошляхів.

Один з прикладів імплементації «зеленої» бруківки задіяно на пакувальному майданчику приватної школи «Гімназії А+» в м. Київ (рис.3.11).

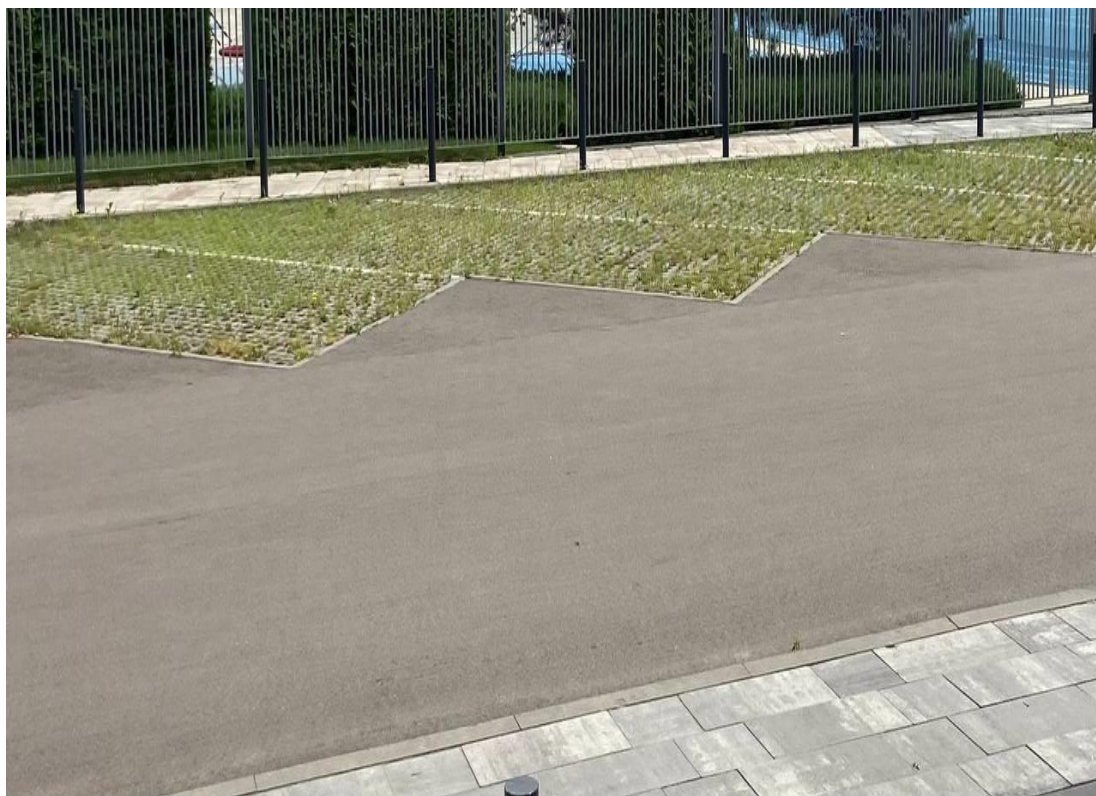


Рисунок 3.11 – Паркувальний майданчик «Гімназії А+» з «зеленою» бруківкою

### **3.5 Розрахунок доцільності заміни асфальтного полотна на «зелену» бруківку для парковки приватного об'єкту**

Розрахунок проводився для парковки ТРЦ «ЛАВІНА» та ТЦ «ЕПІЦЕНТР» на вулиці Берковецька, 6, в Києві.



Рисунок 3.12 – Парковка на території ТРЦ «ЛАВІНА» та ТЦ «ЕПІЦЕНТР»

Парковка розділена на 3 ділянки, 1-ша ділянка площею  $S_1=31\,500\text{м}^2$  (1310шт машиномісць), 2-га ділянка  $S_2=27\,200\text{м}^2$  (968шт машиномісць), і 3-тя ділянка  $S_3=36\,000\text{м}^2$  (1700шт машиномісць).



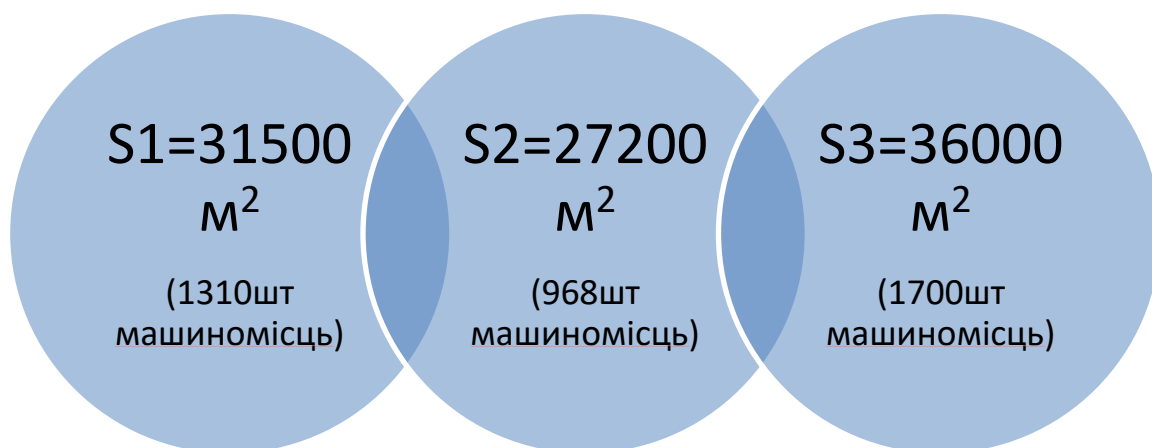


Рисунок 3.13 – Площа та кількість машиномісць кожної з ділянок на території парковки

Тобто загальна площа парковки складає  $S_1 + S_2 + S_3 = 94\,700 \text{ m}^2$  або 9,47га.

На 3х ділянках розташовано загальна кількість машиномісць  $n_{\text{мм}} = 3978$ шт, площа одного становить  $12,5 \text{ m}^2$ . Отже площа 3978шт паркувальних місць буде становити  $49\,725 \text{ m}^2$  або 4,97га

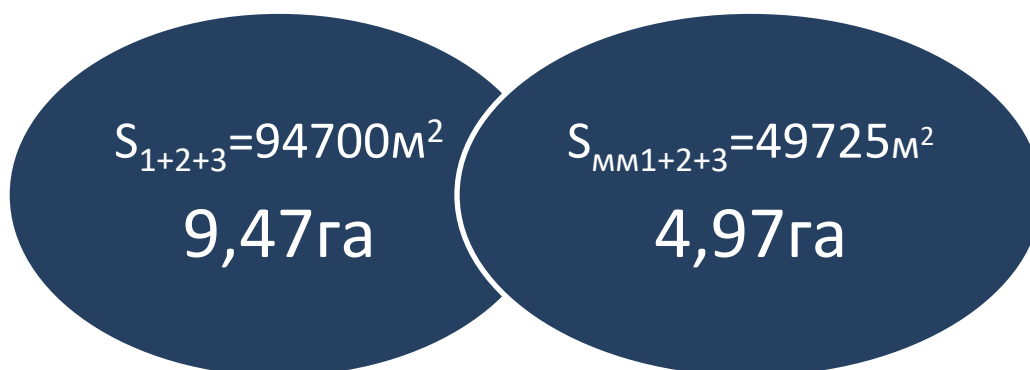


Рисунок 3.13 – Площа загальної території парковки та ділянок для паркування авто

Виравовуючи, що це 52,48% від загальної площі парковки припадає на паркувальні місця, тобто більша половини. Наслідком є, що кількість опадів також розподілиться в такому співвідношенні і створить навантаження на централізовану систему дощової каналізації міста та ризик підтоплень через велику площу водонепроникної поверхні(асфальту). В свою чергу якщо замінити

асфальт на паркувальних ділянках на «зелену» бруківку, тоді навантаження на дощову каналізацію буде зменшено на 52,48% завдяки тому, що бруківка є водопроникною та дренажуючою, об'єм дощових опадів який на неї припаде спрямується до ґрунту та ґрунтових вод.



Рисунок 3.13 – Показник об'єму поверхневого стоку який зменшить навантаження на дощову каналізацію на об'єкті

«Зелена» паркувальна бруківка/решітка є одною із комплексу «зелених» конструкцій в концепції розумного управління стічними водами в умовах мегаполісів. Це складова яка з плином часу стане помітною та допоможе боротися кількісно та якісно з поверхневим стоком. Необхідно приймати та імплементувати дане рішення при розробці нових та поточних проєктів, не маловажливо щоб на рівні виконавчої влади була підтримка нових технологій.

### **Висновки до розділу 3**

1. Встановлено етап припадання найбільшої кількості дощових опадів, на територіях автошляхів та прилеглих площах можливе скупчення поверхневого стоку який може спричинити затоплення.

2. Запропоновано інноваційний «зелений» дренажний канал, функція якого рівномірно поглинати поверхневий стік з дорожнього полотна в місцях його появи; фільтрувати затримуючи шкідливі речовини та спрямовувати дощову воду до стаціонарної системи каналізації міста.

3. Проведено експеримент для визначення швидкості поглинання «зеленим» дренажним каналом води, шляхом побудови моделі в лабораторії КНУБА та проливання системи водою в кілька спроб.

4. Встановлено кількість теоретичного об'єму дощового стоку який припав на Повітрофлотський проспект в Києві під час залпової зливи 20.06.2023р., та теоретичну роботу «зеленого» дренажного каналу для поглинання такого об'єму.

5. Запропоновано технічне рішення заміни асфальтного покриття на ділянках паркувальних майданчиках міста та приватних паркінгах на «зелену»(паркувальну) решітку. Таким чином зменшуючи навантаження на систему централізованої каналізації міста.

## РОЗДІЛ 4

### ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ НА ПРИКЛАДІ ПОКРІВЛІ КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ ТА ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

#### 4.1. Кліматичні особливості міста будівництва

Практичне застосування результатів роботи розглянемо на прикладі даху головного корпусу Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА) в м. Київ. При цьому необхідно врахувати кліматичні умови за даними [112]. Місто Київ характеризується помірно континентальним кліматом з теплим літом і м'якою зимою, оптимальною зволоженістю. Відчутний вплив на клімат Києва річки Дніпро (Канівського водосховища).

Взимку в Києві утворюється сніговий покрив, середня висота покриву в лютому 20 см, максимальна – 440 см. Середня місячна температура повітря +9,2 °С. Київ належить до районів України із достатнім рівнем зволоження, з характерною кількістю опадів за рік 500 – 600 мм. Близько 70% усієї кількості опадів випадає в теплий період, 30% припадає на холодні місяці року. Найменша їх кількість спостерігається в період з січня по березень. З квітня кількість опадів зростає і змінюється їх характер: починають переважати короткочасні дощі [112].

За запасами водних ресурсів область має достатньо поверхневих і підземних водних ресурсів: у маловодний рік 95% забезпеченості на 1 кв. км тут припадає 996,5 тис. куб. м загальних і 26,4 тис. куб. м місцевих поверхневих водних ресурсів, а на одного мешканця - відповідно 6,48 і 0,18 тис. куб. метрів. Водозабезпеченість території і населення загальними водними ресурсами майже в 6-11 раз більші і місцевими в 1,2-2,2 рази менші, ніж у середньому по Україні. За даними звітності №2-ТП (водгосп) в області в 2021 році було забрано 523,53 млн.м<sup>3</sup> води, що на 158,54 млн. м<sup>3</sup> менше, ніж у попередньому році. З них з



поверхневих водних джерел - 484,34 млн. м<sup>3</sup>, із підземних - 39,19 млн. м<sup>3</sup>. Протягом 2021 року було використано: 522,37 млн.м<sup>3</sup>, в тому числі на виробничі потреби - 456,3 млн.м<sup>3</sup>, на господарсько-питні потреби - 37,18 млн.м<sup>3</sup> води, на зрошення- 2,5 млн. м<sup>3</sup> води, сільсько-господарські - 0,12 млн.м<sup>3</sup>. Фактичний скид стічних вод в поверхневі водні об'єкти склав 466,22 млн.м<sup>3</sup>, що на 150,41 млн.м<sup>3</sup> менше, ніж у 2020 році, з них - 1,165 млн.м<sup>3</sup> забруднених, 429,52 млн.м<sup>3</sup> нормативно чистих без очистки, нормативно очищених 35,176 млн.м<sup>3</sup> [113].

У порівнянні цей показник по Україні становить 1 тис. м<sup>3</sup> на рік, у Європі – 4,6 тис. м<sup>3</sup>, в Канаді – 99 тис. м<sup>3</sup>, у світі – 8,2 тис. м<sup>3</sup>).

Огляд та аналіз наявних систем водопостачання та водовідведення області показує, що вони знаходяться переважно в незадовільному стані, очисні споруди працюють неефективно та потребують ремонту та реконструкції. У цілому, перевантаження більшості очисних споруд не спостерігається. Однак, якість очищення стічних вод незадовільна, низка показників перевищує нормативи гранично-допустимого скиду забруднювачів (ГДС) і не дозволяє досягнути категорії «нормативно-очищені».

Для створення «зеленої» покрівлі на даху одного з навчальних корпусів КНУБА(рис.4.1).



Рисунок 4.1 – Візуалізація «зеленої» покрівлі на даху навчального корпусу КНУБА

Було проаналізуємо кількість опадів в м. Київ за 2022 р. (рис.4.2). Максимальний об'єм опадів відповідає  $O_c = 98,7$  мм у листопаді (але це в холодний період року) тому раціональніше взяти  $O_c = 63,1$  мм у вересні (кількість днів  $z = 30$ )

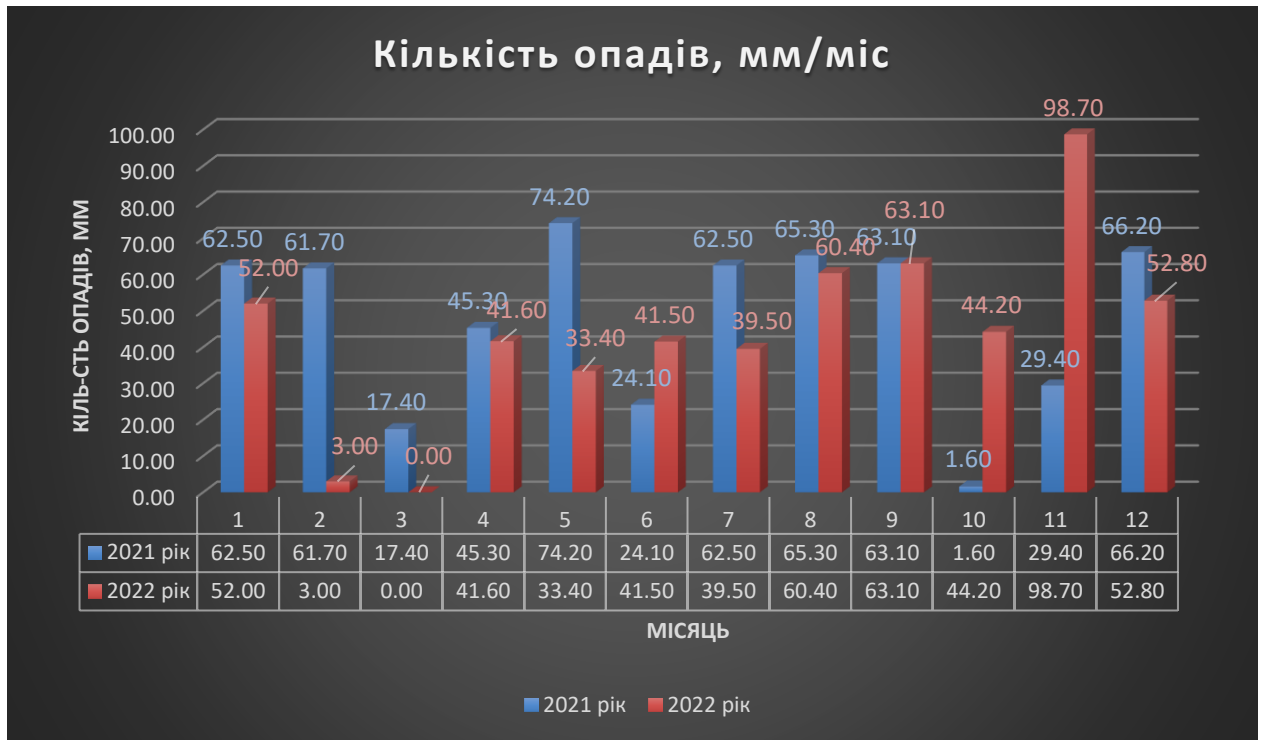


Рисунок 4.2 – Архівні дані ЦГО кількості опадів в Києві

#### 4.2 Розроблення «зеленої» покрівлі з функцією водотримання та повторного використання води

Задля утримання води прийнято систему «Запашні трави» від компанії Зінко-Україна (рис. 3.14, 3.15). Це – система зі спеціально підібраним для цього набору рослин, вологоутримуючими матами і дренажними елементами типу Floradrain® FD40 [86]. Висота системи 160 мм, маса 180 кг/м<sup>2</sup>, водонакопичення 68 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> або  $H = 68$  мм. Площа даху розрахункового корпусу КНУБА  $S_n = 350$  м<sup>2</sup> складається з площі зелених зон  $S_{gy} = 250$  м<sup>2</sup>, що утримують воду, та площі пішохідних зон  $S_{gg} = 100$  м<sup>2</sup> з водопропусним покриттям, звідки вода відводиться.

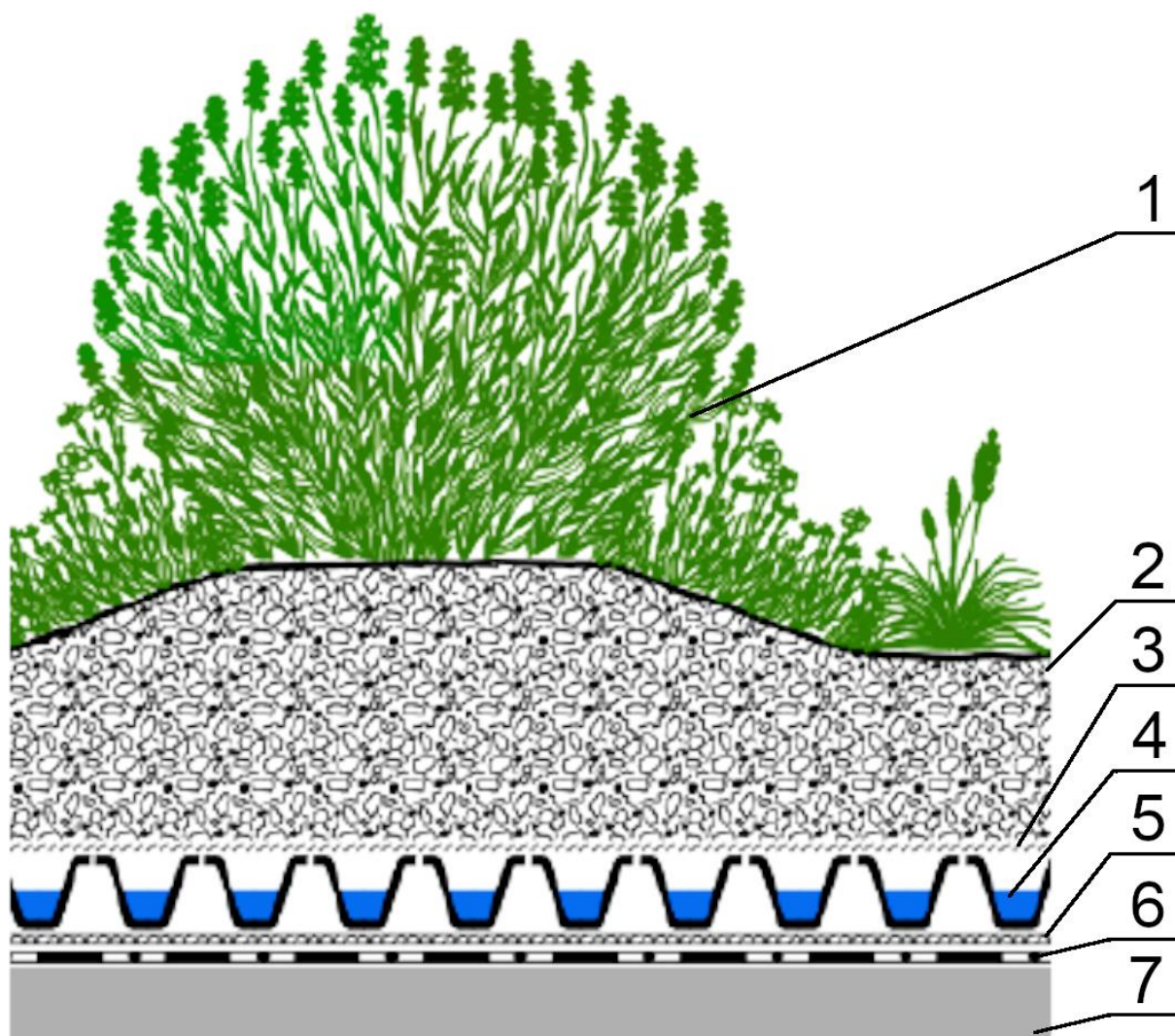
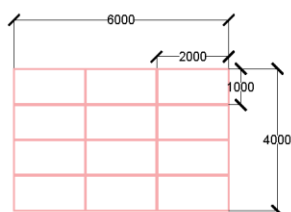
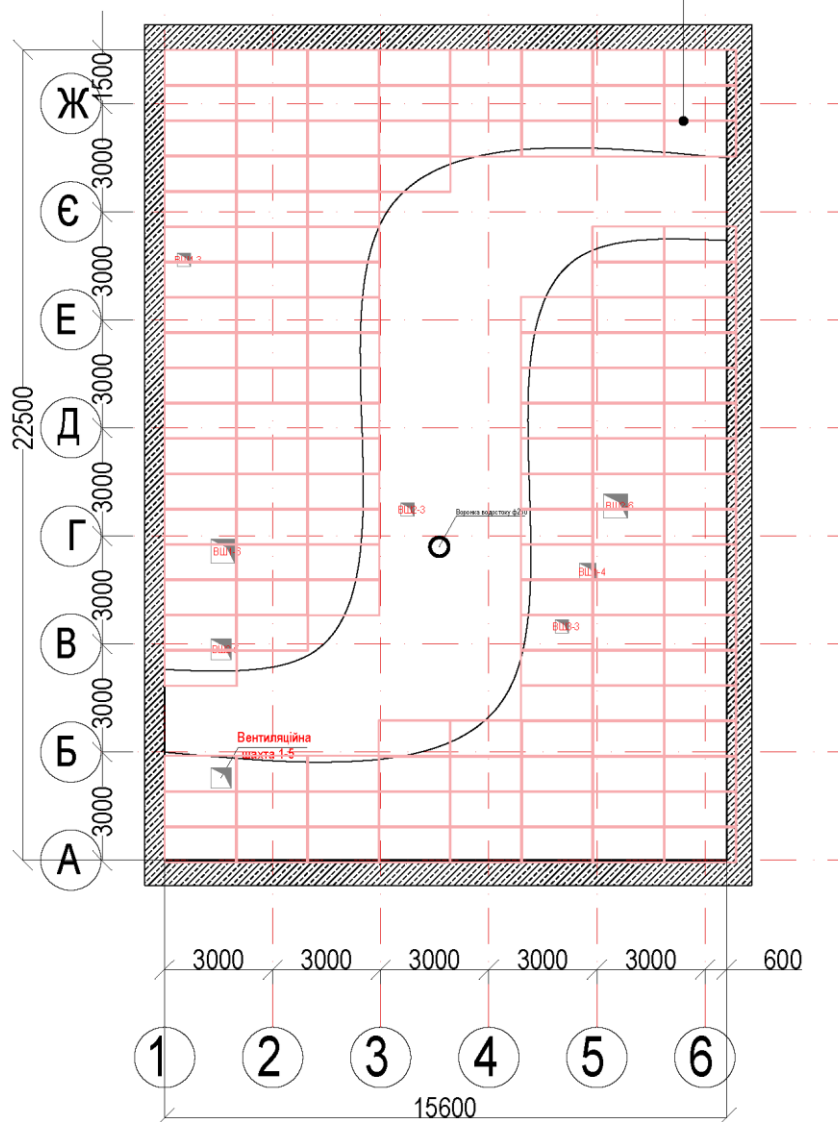


Рисунок 4.3 – Схема системи Floradrain® FD40: 1 – багаторічні рослини; 2 – системний субстрат «запашні трави»; 3 – системний фільтр SF; 4 – дренажний елемент Floradrain® FD40; 5 – вологоутримувальний захисний мат SSM 50; 6 – протикореневий шар WSF 40/ гідроізоляційна мембрана; 7 – конструкція даху [86]



### Розкладання дренажного та вологоутримуючого шару FloraDrain FD 25



Дренажно-волоگوутримуючий шар FloraDrain FD 25

- розмір мату 2000x1000мм
- кількість матів 136шт (+6шт на прирізку)

Рисунок 4.4 – План покрівлі корпусу з дренажно-волоگوутримуючим шаром Floradrain FD40

-  – пішохідні зони без монтування матів для швидшого водовідведення ( $S_{66} = 100 \text{ м}^2$ );
-  – монтування дренажного мату Floradrain® FD 40 у зонах насаджень отворами догори для утримування води ( $S_{6y} = 250 \text{ м}^2$ )

При максимальній зливі на рівні  $O_c = 63,1$  мм перевантаження  $Z$ , %, становить:

$$Z = 100 \cdot (H - O_c) / H \quad (4.1)$$

де:

$H$  = водонакопичення системи,  $\text{дм}^3/\text{м}^2$

$O_c$  = водонакопичення системи,  $\text{дм}^3/\text{м}^2$

Тоді:

$$Z = 100 \cdot (68 - 63,1) / 68 = 7,2$$

Таким чином, кліматичні зміни і пов'язане з ним зростання кількості опадів можуть виснажити можливості водоутримання зелених зон покрівлі. Дощова вода буде частково утримана зеленими зонами та додатково навантажить зливову систему водовідведення.

Теоретична максимальна кількість опадів яка припадає на зелені зони даної покрівлі,  $\text{дм}^3$ ,

$$W_{\text{вв}} = S_{\text{вв}} \cdot O_c \quad (4.2)$$

За формулою (4.2)

$$W_{\text{вв}} = 250 \cdot 63,1 = 15775 \text{ дм}^3.$$

Теоретична максимальна кількість опадів яка утримується зеленими зонами даної покрівлі,  $\text{дм}^3$ ,

$$W_{\text{вг}} = S_{\text{вг}} \cdot H \quad (4.3)$$

За формулою (4.3)

$$W_{\text{вг}} = 250 \cdot 68 = 17000 \text{ дм}^3.$$

Різниця між максимальною кількістю опадів та кількістю утриманих зеленими зонами:

$$W_{\text{пі}} = W_{\text{вг}} - W_{\text{вв}} \quad (4.4)$$

За формулою (4.4)

$$W_{\text{пі}} = 17000 - 15775 = 1225 \text{ дм}^3.$$

складає  $W_{pi}$  1225 дм<sup>3</sup>. Тому, така кількість водних ресурсів попрямує до покрівельної воронки, де надалі воду необхідно направити до накопичувального баку задля повторного використання.

Потреба у воді на полив за [104] становить 3...6 дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·добу). Якщо асортимент рослин відповідає відносно невеликій кількості опадів області, приймаємо потребу  $q = 3$  дм<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·добу). Тоді потреба у поливі зелених зон становитиме, дм<sup>3</sup>/добу,

$$Q_n = S_{gy} \cdot q. \quad (4.5)$$

За формулою (4.5)

$$Q_n = 250 \cdot 3 = 750 \text{ дм}^3/\text{добу}$$

Тоді кількість діб, які покрівлю не слід поливати після максимальної зливи, слід визначати за формулою, діб,

$$n = W_{es} / Q_n = O_c / q. \quad (4.6)$$

За формулою (4.6)

$$n = 63,1 / 3 = 21 .$$

Покрівлю можна не поливати  $n = 21$  добу.

При цьому залишається невикористаний ресурс дощової води з пішохідних зон об'ємом, м<sup>3</sup>,

$$W_6 = S_{es} \cdot O_c \quad (4.7)$$

За формулою (4.7)

$$W_6 = 100 \cdot 63,1 = 6310 \text{ дм}^3$$

Цю воду також доцільно збирати до бака(ів) для подальшого використання. Для максимальної утилізації даного ресурсу об'єм бака(ів) має відповідати:

$$\Sigma W_6 = W_6 + W_{pi} \quad (4.8)$$

За формулою (4.8)

$$\Sigma W_6 = 6310 + 1225 = 7535 \text{ дм}^3$$

з заокругленням у більший бік –  $\Sigma W_6 = 8 \text{ м}^3$ .

Оптимальний час зберігання води за досвідом становить 2...3 тижні, після чого якість води значно погіршується через біологічні та хімічні процеси.



Використання накопиченого об'єму на полив відбуватиметься протягом  $n_n$  діб: за формулою:

$$n_n = W_s / Q_n = (S_{ss} / S_{sy}) \cdot (O_c / q) \quad (4.9)$$

$$n_n = 6310 / 750 = (100 / 250) \cdot (63,1 / 3) = 8,4$$

За залежністю (4.9) маємо  $n_n = 8,4$ . Якщо починати полив з бака(ів) після вичерпування утриманої води, зберігати воду в баку прийдеться  $n + n_n = 29,4$  днів. Останні 3,5 дні до субстрату потраплятиме вода неналежної якості.

Можна спробувати стратегію поповнення запасів утриманої води шляхом більш інтенсивного поливання, ніж потрібно. При цьому вода знову проходить субстрат і корені рослин, що має очистити її від мікроорганізмів і утворених хімічних забруднювачів. Можливість такої біоремедіації води з продовженням строку зберігання вимагає додаткового експериментального підтвердження.

З іншого боку, бак(и) буде розташовано нижче рівня покрівлі, що вимагатиме застосування насосів для підняття її на полив. Іншою стратегією є використання води для туалетів на нижчих поверхах, що дозволяє скористатися гідростатичним тиском для самоплину. За [104] середня за годину потреба у воді на один унітаз і пісуар громадських туалетів становить, відповідно, 90 і 20  $\text{дм}^3/\text{год}$ . При восьмигодинному робочому дні добова потреба становитиме, відповідно, 720 і 160  $\text{дм}^3/\text{год}$ . Таким чином, два унітази спорожнять бак(и) за  $7535 / (2 \cdot 720) = 5,2$  доби, що відповідає оптимальному режиму експлуатації. Використання баків для більшої кількості санітарних приладів залишається виправданим задля спрощення системи водопостачання відповідних туалетів. Адже спорожнення бака(ів) швидше ніж за 14 діб не погіршує якість води.

Оскільки зміни клімату можуть збільшити кількість опадів, то бак(и) рекомендується проектувати з запасом. На сьогодні методики визначення запасу відсутні, а прогнози залишаються недостатньо обґрунтованими. Тому пропонується приймати запаси з урахуванням можливостей замовника та будівельних конструкцій. У такому разі збільшення кількості санітарних



приладів, що обслуговуються, стає виправданим задля підвищення стійкості об'єктів до кліматичних змін.

### 4.3 Розрахунок та проєкт акумулюючих баків для накопичення дощових опадів

Практичний проєкт з встановленням акумулюючих баків для накопичення дощової води з покрівлі у приміщеннях підвального поверху багатоквартирного будинку в житловому комплексі «ФАЙНА ТАУН» в Києві (рис.4.5).

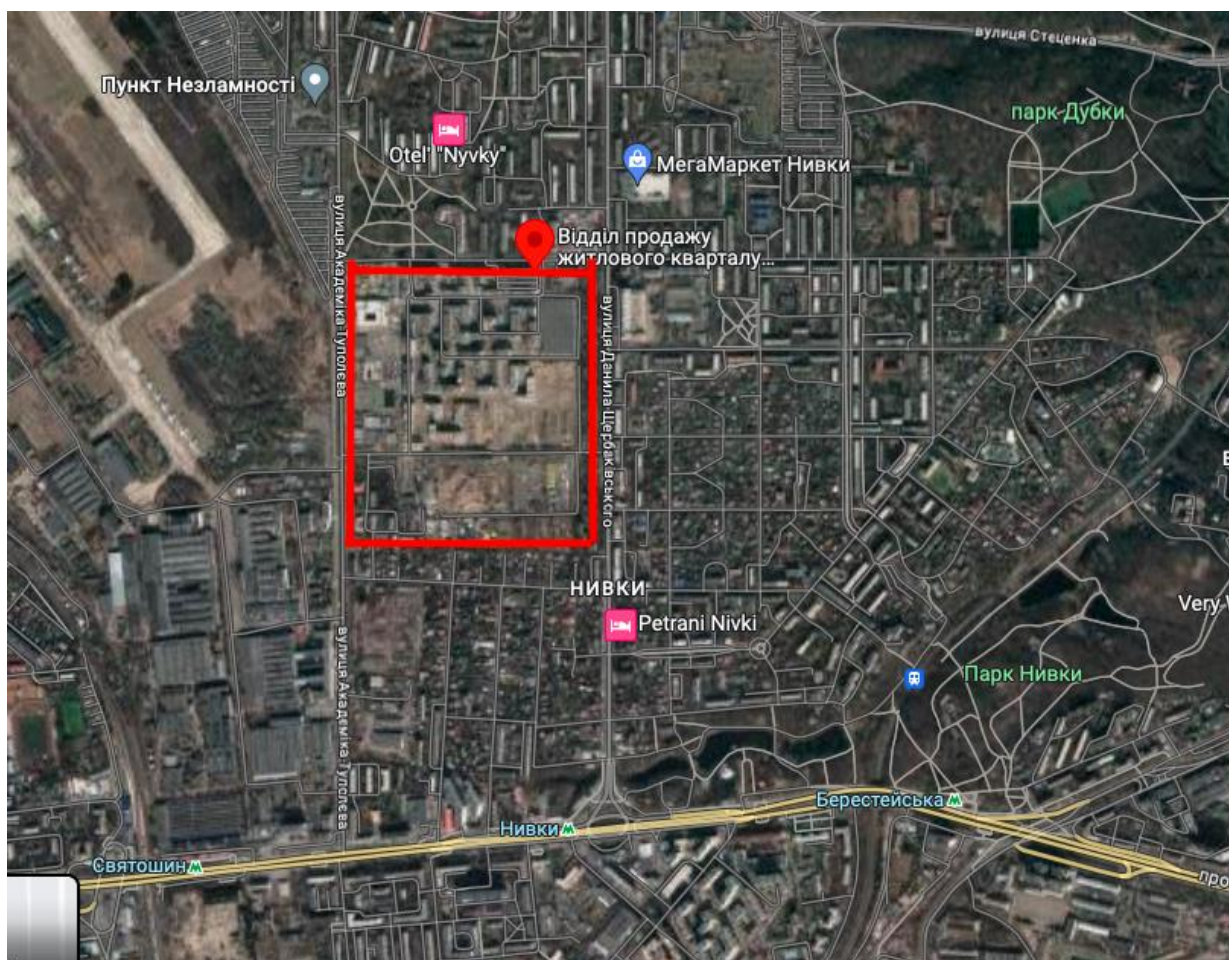


Рисунок 4.5 – Схема розташування житлового комплексу



Рисунок 4.6 – Генплан ЖК «ФАЙНА ТАУН»

Мета проєкту полягає в тому, щоб забезпечити та частково перевести систему поливального водопроводу В10 на використання водних ресурсів з дощових опадів, об'єм яких утворюється на площі стаціонарних покрівель будинків та може бути накопичений в акумулюючих ємностях.

Розробка базується на основі декількох будинків 1-ої черги будівництва, а саме на показниках водолічильних вузлів з обсягами витрачених водних ресурсів з централізованого водопостачання міста які спрямовуються на поливальний водопровід В10 (рис. 4.7.).

Витрати на потреби поливу	01.2022	02.2022	03.2022	04.2022	05.2022	06.2022	07.2022	08.2022	09.2022	10.2022	11.2022	12.2022
	Показник лічильника, м <sup>3</sup>											
буд. 1n1	27,00	28,00	28,00	29,00	32,00	37,00	42,00	47,00	55,00	61,00	67,00	68,00
буд. 1n5	1 163,00	1 172,00	1 172,00	1 415,00	1 434,00	1 546,00	1 561,00	1 603,00	1 622,00	1 631,00	1 632,00	1 633,00
буд. 1n8	1 437,00	1 444,00	1 445,00	1 446,00	1 504,00	1 666,00	1 746,00	1 842,00	1 927,00	1 973,00	1 980,00	1 988,00
буд. 1n11	432,00	436,00	437,00	437,00	466,00	548,00	594,00	650,00	698,00	731,00	732,00	733,00
буд. 5n3	793,00	808,00	812,00	830,00	900,00	1 048,00	1 135,00	1 240,00	1 315,00	1 315,00	1 315,00	1 315,00

Рисунок 4.7 – Показники лічильників за 2022р.

Таблиця 4.1

## Сумарні показники витрати води на систему поливу В10

Витрати на потреби поливу	Всього використано води, м <sup>3</sup>	Використано води, м <sup>3</sup> (в сезон поливу з 04 по 09 міс.)	Середня кіл-сть води м <sup>3</sup> /міс
буд.1п1	41,00	26,00	4,33
буд.1п5	470,00	207,00	34,50
буд.1п8	551,00	481,00	80,17
буд.1п11	301,00	261,00	43,50
буд.5п3	522,00	485,00	80,83
<b>Загалом</b>	<b>1 885,00</b>	<b>1 460,00</b>	<b>243,33</b>

Таблиця 4.2

## Розміри та площа даху будинків

Розміри покрівлі	А, м	В, м	S, м <sup>2</sup>
Будинок 1 (15пов)	29,58	16,56	489,84
Будинок 2			0,00
секція 201(9п)	9,26	57,64	533,75
секція 202(17п)	28,30	16,56	468,65
Будинок 3			0,00
секція 301(10п)	32,71	12,44	406,91
секція 302(8п)	10,79	44,92	484,69
Будинок 4			0,00
секція 401(8п)	44,92	10,37	465,82
секція 402(8п)	19,29	15,65	301,89
Будинок 5			0,00
секція 501(9п)	10,03	64,21	644,03
секція 502(9п)	10,03	41,14	412,63
<b>S покрівлі Ії черги, м<sup>2</sup></b>			<b>4 208,21</b>

З аналізу кількості опадів, визначимо середні показники за теплий сезон з 04 (квітень місяць) до 09 (вересень місяць) включно (кількість місяців які рахуються – 6). Саме в цей період на територію комплексу відбувається полив та застосовується поливальний водопровід системи В10.



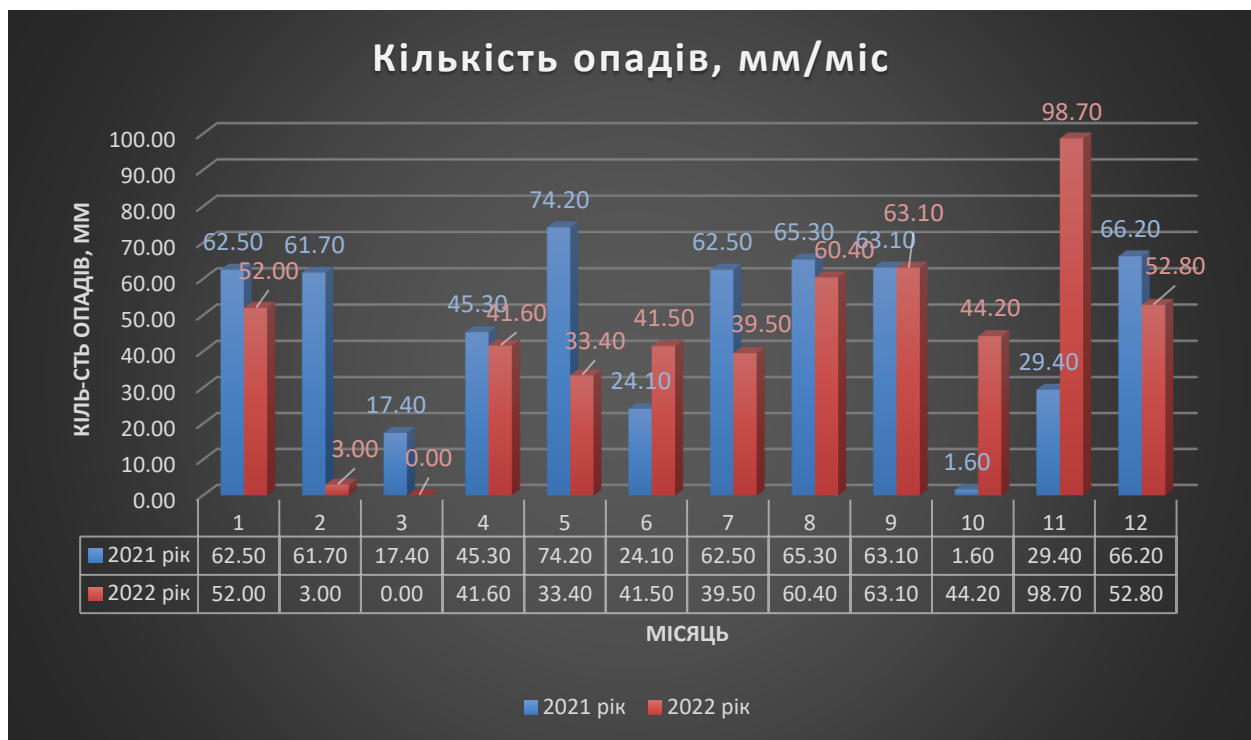


Рисунок 4.8 – Кількість опадів за даними ЦГО в Києві

В таблиці 3.8 визначені середні значення кількості 1 опадів за 6 місяців з 04 до 09 включно.

Таблиця 4.3

Середні значення кількості опадів за 6 місяців (з 04 до 09 включно).

2021р.	Всього з 04 по 09 місяць, мм	334,50	(0,3345м)
2022р.	Всього з 04 по 09 місяць, мм	279,50	(0,2795м)
2021р.	Середня кількість опадів, мм	$334,5/6 = 55,75$	(0,06м)
2022р.	Всього з 04 по 09 місяць, мм	$279,5/6 = 46,58$	(0,05м)

За середніми показниками можемо визначити відповідні значення кількості опадів які припадуть на площі покрівель та можуть бути спрямовані до накопичувальних ємностей. Розрахункові значення наведені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Середні показники об'ємів опадів відповідно до площ покрівель.

Середня кількість опадів на місяць, 2021р., м <sup>3</sup> (на S даху)	$4208,21 \cdot 0,06 = 252,5$	Кількість опадів на будинок, м <sup>3</sup> /міс	$252,5/5 = 50,5$	Кількість баків V=6м <sup>3</sup> на буд.	$8,41 = 8$
Середня кількість опадів на місяць, 2022р., м <sup>3</sup> (на S даху)	$4208,21 \cdot 0,05 = 210,4$	Кількість опадів на будинок, м <sup>3</sup> /міс	$210/5 = 42,08$	Кількість баків V=6м <sup>3</sup> на буд.	$7,01 = 7$

Встановлення накопичувальних баків (рис.4.9, 4.10) допоможе зменшити економічні витрати шляхом економії фінансів на купівлю ресурсів (води) з централізованих мереж міста, а головне мінімізує навантаження на довкілля шляхом накопичення та вторинного використання природних ресурсів.

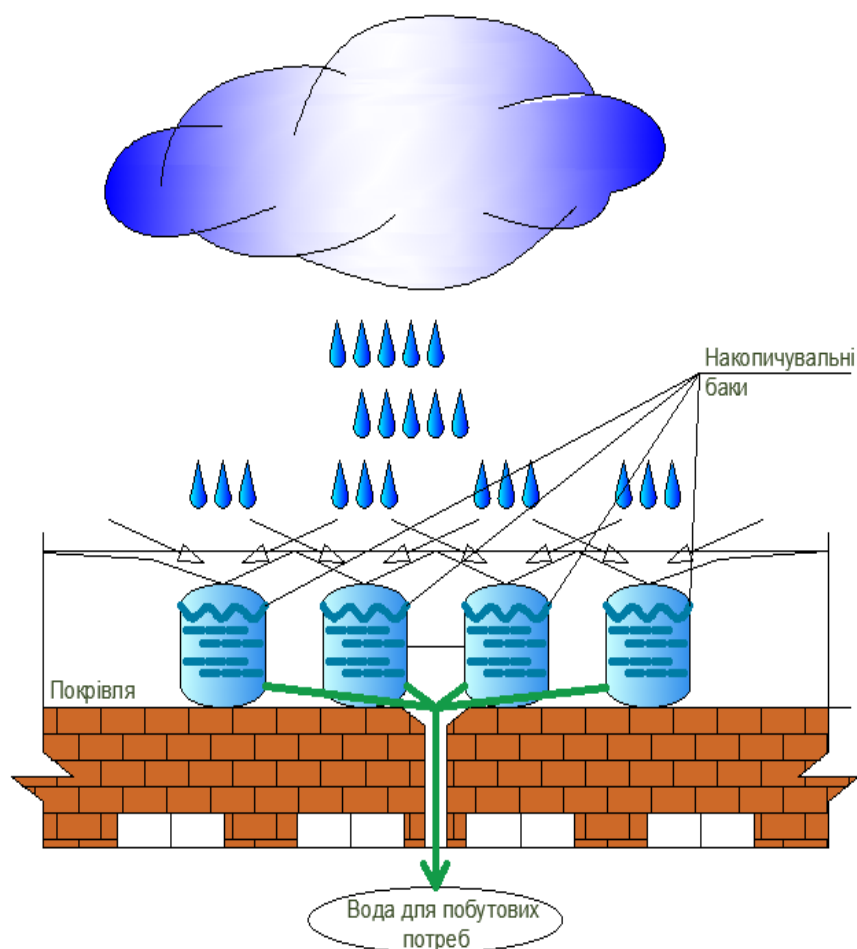


Рисунок 4.9 – Показова схема накопичувальних баків на даху будівлі

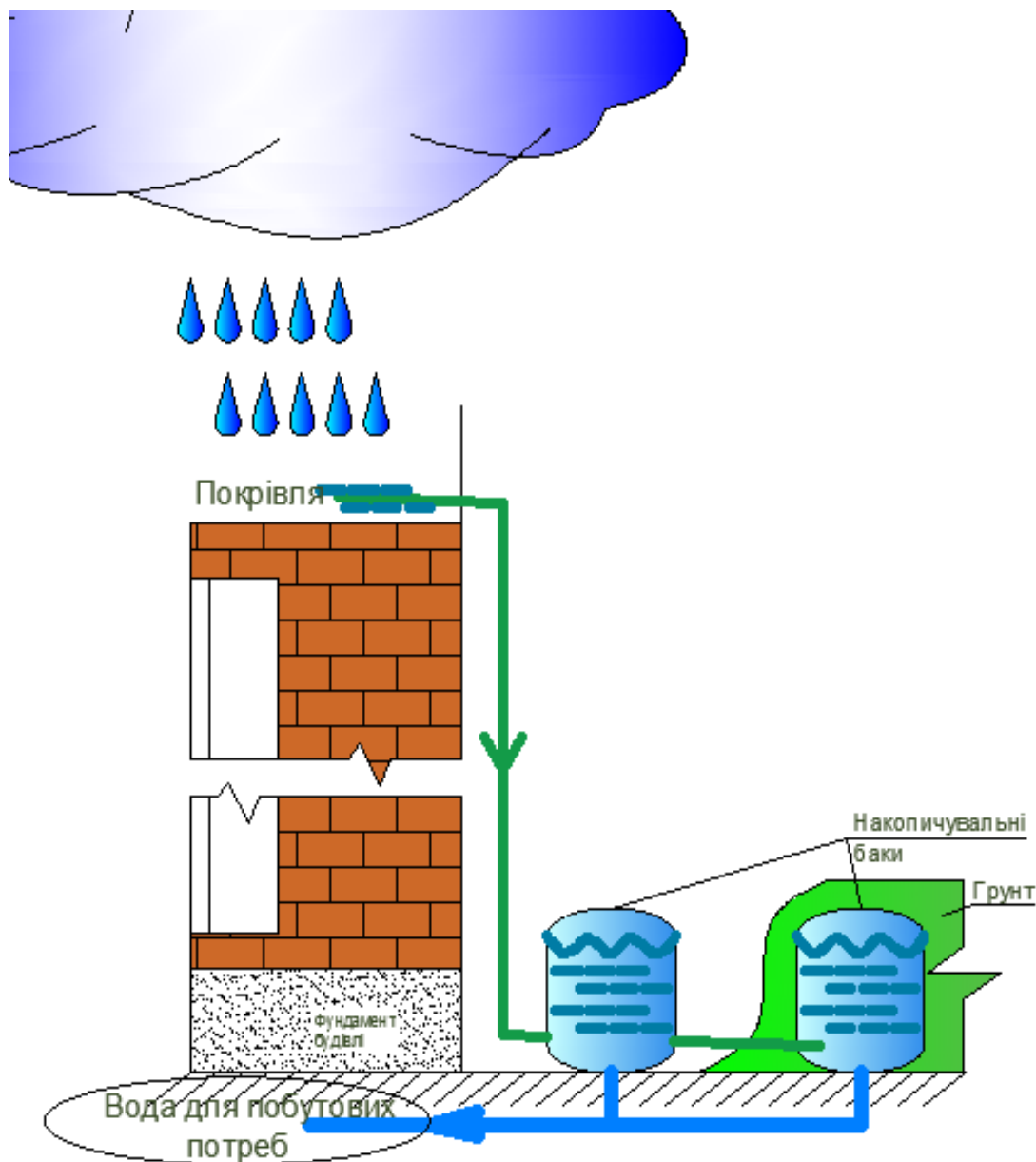


Рисунок 4.10 – Показова схема накопичувальних баків в нижній частині будівлі

Щодо накопичувальних баків, була розроблена схема, в якій підключення відбувається шляхом врізування додаткового трубопроводу в систему зливової каналізації будинку K2 перед випуском до каналізаційного колодязя та синхронізація з системою поливального водопроводу В10 будинку (рис. 3.20).

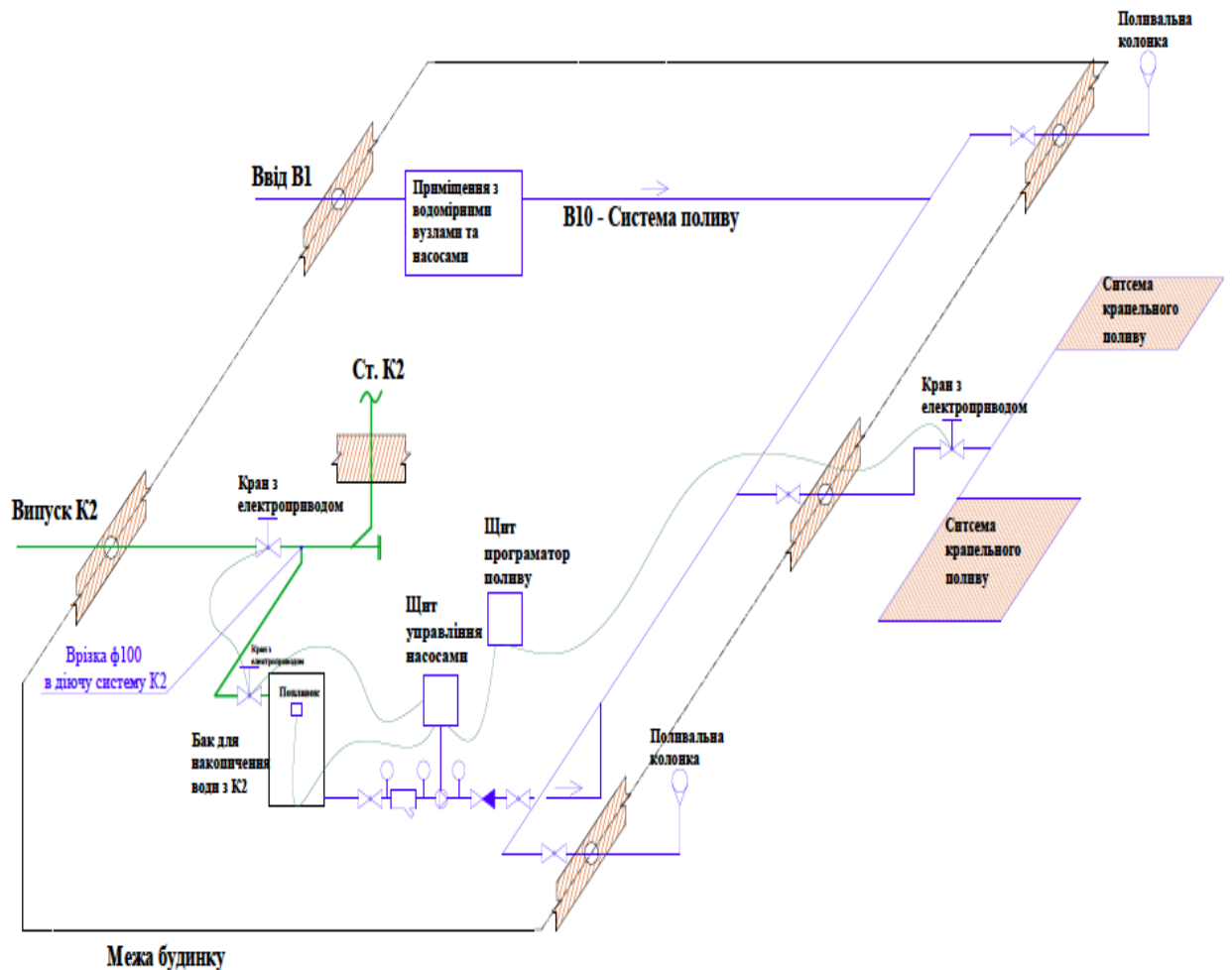


Рисунок 4.11 – Показова схема розташування баків в будівлі

Щодо результатів, порівнюючи дані з водомірних вузлів (лічильників) з обсягами природних водних ресурсів (дощових опадів), це  $243,33\text{ м}^3/\text{міс}$  і  $210,4\text{ м}^3/\text{міс}$  відповідно, різниця між величинами  $243,33 - 210,4 = 32,93\text{ м}^3/\text{міс}$ . у відсотковому співвідношенні це  $86,46\%$ , тобто завдяки збору дощових опадів у накопичувальні баки можливо заощадити до  $90\%$  витрат на використання централізованого водопостачання. Звісно необхідно враховувати, що дощові опади не передбачувані.

#### Висновки за розділом 4

1. Практичне впровадження результатів роботи дозволяє ефективно керувати міськими дощовими стоками задля уникнення дороговартісної модернізації систем дощової каналізації.



2. «Зелена» покрівля з функцією накопичення та повторного використання дощових стічних вод дозволяє суттєво зменшити витрату водопровідної води на побутові потреби навчального корпусу КНУБА.

3. Розроблений проєкт для житлового комплексу Файна Таун м. Києва системи накопичення дощової води з покрівлі в акумулюючих (накопичувальних) баках для системи поливу В10, з надає суттєву економію централізованих водних ресурсів  $E = 86,6 \%$ .

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У роботі вирішено актуальну для України та світу задачу запобігання затоплень міських територій з використанням технології «зелених» конструкцій, що є важливим, зокрема, для повоєнної відбудови інфраструктури та будівельних об'єктів

2. У результаті аналізу літературних джерел встановлено, що «зелені конструкції» є перспективною технологією управління дощовими стоками. При цьому необхідно вирішити завдання зменшення та повторного використання дощових стоків «зеленими конструкціями» для кліматичних умов України та збирання й видалення дощових вод безпосередньо з автошляхів.

3. Аналіз хімічного складу дощової води яка пройшла через систему «зеленої» покрівлі на адміністративній споруді в житловому комплексі Києва, виявив відсутність перевищень за всіма показниками для питної води згідно з СанПіН 2.2.4-171-10, що підтверджує доцільність використання такої води для технічних потреб будівель. Зокрема, вміст - сульфатів не перевищував  $106 \text{ мг/дм}^3$  при максимально допустимому значенні  $250 \text{ мг/дм}^3$ ; - нітриту  $0,0 \text{ мг/дм}^3$  при максимально допустимому значенні  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ; - нітрати  $1,1 \text{ мг/дм}^3$  при максимально допустимому значенні  $50,0 \text{ мг/дм}^3$ ; - азот амонію  $0,4 \text{ мг/дм}^3$  при максимально допустимому значенні  $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ; водневий показник рН на рівні 8,5

4. Розроблений інноваційний «зелений» дренажний канал для поглинання і фільтрування дощового стоку з автошляхів забезпечує рівномірне і швидке поглинання дощового стоку на поверхні проїжджої частини з фільтрацією в піщаному шарі. Показник просочування/поглинання становить  $V_k = 2 \text{ дм}^3/\text{хв}$  при  $S_k = 0,2 \text{ м}^2$ . Це покриває значення максимальної інтенсивності дощу  $1,28 \text{ мм/хв}$  при залповій зливі;

5. Проєкт «зеленої» покрівлі на навчальному корпусі Київського національного університету будівництва і архітектури типу Floradrain FD40 дозволяє ефективно затримувати, накопичувати та поглинати дощову воду, з

водонасичуванням  $W_m = 68 \text{ дм}^3/\text{м}^2$  та швидкістю просочування  $V = 0,62 \text{ дм}^3/\text{добу}$ . Проект є також навчальним стендом використання «зелених» конструкцій як метод реновації будівель під час відбудови та майбутнього відновлення; створення додаткових природних екосистем в ландшафті міста;

6. Розроблено проект для житлового комплексу Києва, системи накопичення дощової води з покрівлі в акумулюючих (накопичувальних) баках для системи поливу В10, з додатковим обладнанням автоматики регулювання подачі води на систему крапельного поливу, показником економії централізованих водних ресурсів  $E = 86,6\%$  за період 2022р;

7. Запропоновано технічне рішення – проникні поверхні («зелена» бруківка), для зменшення навантаження на мережу дощової каналізації К2 на  $k = 52,48\%$  на прикладі приватного об'єкту; шляхом заміни асфальтного покриття на «зелену» бруківку в місцях паркування автомобілів, не допускаючи об'єми дощового стоку який присутній на них на додачу посереднього об'єму на асфальтованій частині доріг тим самим збільшуючи навантаження на пропускну здатність централізованої системи дощової каналізації міста.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A. Basdeki, L. Katsifarakis, K.L. Katsifarakis Rain gardens as integral parts of urban sewage systems-a case study in Thessaloniki, Greece *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd (2016), pp. 426-432. (1)
2. A. Cettner, R. Ashley, A. Hedström, M. Viklander Assessing receptivity for change in urban stormwater management and contexts for action *J. Environ. Manag.*, 146 (2014), pp. 29-41. (2)
3. Adem Esmail, B., Suleiman, L., 2020. Analyzing evidence of sustainable urban water management systems: a review through the lenses of sociotechnical transitions. *Sustainability* 12, 4481.
4. A. Fardel, P.E. Peyneau, B. Béchet, A. Lakel, F. Rodriguez Analysis of swale factors implicated in pollutant removal efficiency using a swale database *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 26 (2019), pp. 1287-1302 (3)
5. A. Gohari, M.J. Zareian, S. Eslamian Handbook of Climate Change Adaptation(2015), pp. 17-35 (4)
6. Ahiablame, L.M., Engel, B.A., Chaubey, I., 2012. Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions for future research. *Water, air. Soil Pollut* 223, 4253–4273.
7. American Concrete Pavement Association (ACPA). (2006). Stormwater management with pervious concrete. Publication IS334P (5)
8. American Road and Transportation Builders Association (ARTBA). (2019). Funding, financing and cost frequently asked questions (6)
9. Anderson, B.S., Phillips, B.M., Voorhees, J.P., Siegler, K., Tjeerdema, R., 2016. Bioswales reduce contaminants associated with toxicity in urban storm water. *Environ. Toxicol. Chem.* 35, 3124–3134.
10. Andersson, E., Barthel, S., Borgstrom, S., Colding, J., Elmqvist, T., Folke, C., Gren, Å., 2014. Reconnecting cities to the biosphere: stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services. *Ambio* 43, 445–453.

11. Backstrom Sediment transport in grassed swales during simulated runoff events  
Water Sci. Technol., 45 (2002), pp. 41-49 (7)
12. B. Balfors, J. Azcárate, U. Mörtberg, M. Karlson, S.O. Gordon Impacts of urban development on biodiversity and ecosystem services D. Geneletti (Ed.), Handbook on Biodiversity and Ecosystem Services in Impact Assessment, Edward Elgar Publishing (2020), pp. 167-194 (8)
13. B. Eisenberg, K.C. Lindow, D.R. Smith (Eds.), Permeable Pavements, American Society of Civil Engineers, Reston, VA (2015) (9)
14. B. Berardi, K.C. Lindow, D.R. Smith. Hydrological behaviour of rain gardens and plant suitability: a study in the Veneto plain (north-eastern Italy) conditions. Urban For& Urban Green 34 (2018), pp. 121-133 (10)
15. B. Blocken, J. Carmeliet, Spatial and temporal distribution of driving rain on a lowrise building, Wind Struct. Int. J. 5 (2002) 441–462,
16. B. Raji, M.J. Tenpierik, A. van den Dobbelsteen, The impact of greening systems on building energy performance: a literature review, Renew. Sustain. Energy Rev. 45 (2015) 610–623,
17. Behroozi, A., Niksokhan, M.H., Nazariha, M., 2018. Developing a simulation optimisation model for quantitative and qualitative control of urban runoff using best management practices. J. Flood Risk Manag. 11, S340–S351.
18. Blecken, G.T., Hunt, W.F., Al-Rubaei, A.M., Viklander, M., Lord, W.G., 2017. Stormwater control measure (SCM) maintenance considerations to ensure designed functionality. Urban Water J. 14
19. Borris, M., Leonhardt, G., Marsalek, J., Osterlund, H., Viklander, M., 2016. Source-based modeling of urban stormwater quality response to the selected scenarios combining future changes in climate and socio-economic factors. Environ. Manag. 58, 223–237
20. C. Albert, C. Fürst, I. Ring, C. Sandström Research note: spatial planning in Europe and Central Asia – enhancing the consideration of biodiversity and ecosystem services Landsc. Urban Plan., 196 (2020), Article 103741 (11)

21. Caneva G, Kumbaric A, Savo V, Casalini R. Ecological approach in selecting extensive green roof plants: a data-set of Mediterranean plants. *Plant Biosyst* 2015;149:374–83.
22. C.M. Liu, J.W. Chen, J.H. Tsai, W.S. Lin, M.T. Yen, T.H. Chen Experimental studies of the dilution of vehicle exhaust pollutants by environment-protecting pervious pavement *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 62 (1) (2012), pp. 92-102 (12)
23. C. Monrabal Martinez, T. Meyn, T.M. Muthanna Characterization and temporal variation of urban runoff in a cold climate - design implications for SuDS *Urban Water J.*, 16 (2019), pp. 451-459. (13)
24. Caicedo, F., Blazquez, C., & Miranda, P. (2012). Prediction of parking space availability in real time. *Expert Systems with Applications* 39(8), 7281–7290. (14)
25. Clary, J., Jones, J., Leisenring, M., Hobson, P., & Strecker, E. (2017). Final report—International stormwater BMP database: 2016 summary statistics. *Water Environment & Reuse Foundation*. (15)
26. Claytor, R.A. and T.R. Schuler. *Design of Stormwater Filtering Systems*. Silver Spring, MD: Center for Watershed Protection, 1996.
27. Conley, G., McDonald, R.I., Nodine, T., Chapman, T., Holland, C., Hawkins, C., Beck, N., 2022. Assessing the influence of urban greenness and green stormwater infrastructure on hydrology from satellite remote sensing. *Sci. Total Environ.* 817, 152723.
28. Davies, C., Macfarlane, R., Mcgloin, C., 2017. Green infrastructure [WWW Document].
29. Dietz, M.E., 2007. Low impact development practices: a review of current research and recommendations for future directions. *Water Air Soil Pollut.* 186, 351–363.
30. E. Cristiano, R. Deidda, F. Viola The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: a review *Sci Total Environ*, 756 (2021), Article 143876. (16)
31. Ebrahimian, A., Wadzuk, B., Traver, R., 2019. Evapotranspiration in green stormwater infrastructure systems. *Sci. Total Environ.* 688, 797–810.

32. E. Burszta-Adamiak, M. Biniak-Pieróg, P.B. Dąbek, A. Sternik. Rain garden hydrological performance – Responses to real rainfall events. (May 2023) (17)
33. European Environment Agency, 2009. Ensuring quality of life in Europe's cities and towns, EEA Report.
34. European Commission, 2010. Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020 (COM/2011/0244 final). Brussels.
35. European Commission, 2013. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital.
36. European Commission, 2016. The EU Research and Innovation policy agenda on NatureBased Solutions 72.
37. European Commission, 2019. Guidance on a strategic framework for further supporting the deployment of EU-level green & blue infrastructure. Brussels.
38. European Commission, 2020. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, EU Biodiversity Strategy for 2030, European Commission. (18)
39. Fletcher, T.D., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P.S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., Viklander, M., 2015. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - the evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water J.* 12, 525–542.
40. F. Orgaz, M.D. Fernández, S. Bonachela, M. Gallardo, E. Fereres, Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse, *Agric. Water Manag.* 72 (2005) 81–96.
41. Galbrun L, Scerri L. Sound insulation of lightweight extensive green roofs. *Build Environ* 2017;116:130–9.



42. Gargari C, Bibbiani C, Fantozzi F, Campiotti CA. Environmental impact of green roofing: the contribute of a green roof to the sustainable use of natural resources in a life cycle approach. *Agric Agric Sci Procedia* 2016;8:646–56.
43. Giama E, Papageorgiou C, Theodoridou I, Papadopoulos AM. Life cycle analysis and life cycle cost analysis of green roofs in the Mediterranean climatic conditions. *Energy Sources, Part A* 2021
44. G.M. Kim, J.G. Jang, H.R. Khalid, H.K. Lee Water purification characteristics of pervious concrete fabricated with CSA cement and bottom ash aggregates *Construct. Build. Mater.*, 136 (2017), pp. 1-8 (19)
45. G.Mihalakakou, M.Souliotis, M.Papadaki, P. Menounou, P.Dimopoulos, D.Kolokotsa, JohnA. Paravantis, A.Tsangrassoulis, G.Panaras, E. Giannakopoulos, S. Papaefthimiou. Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 180, July 2023, 113306. (20)
46. G. Pérez, L. Rincón, A. Vila, J.M. González, L.F. Cabeza, Energy efficiency of green roofs and green façades in mediterranean continental climate, *Energy Convers. Manag.* 52 (2011) 1861–1867
47. He, L., Li, S., Cui, C.H., Yang, S.S., Ding, J., Wang, G.Y., Bai, S.W., Zhao, L., Cao, G.L., Ren, N.Q., 2022. Runoff control simulation and comprehensive benefit evaluation of lowimpact development strategies in a typical cold climate area. *Environ. Res.* 206, 112630
48. H.F. Castleton, V. Stovin, S.B.M. Beck, J.B. Davison Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit *Energy Build*, 42 (2010), pp. 1582-1591 (21)
49. J. Båk, M. Barjenbruch Benefits, inconveniences, and facilities of the application of rain gardens in urban spaces from the perspective of climate change—a review *Water*, 14 (2022), p. 1153 (22)
50. K. Vijayaraghavan, U.M. Joshi Can green roof act as a sink for contaminants? A methodological study to evaluate runoff quality from green roofs *Environ Pollut*, 194 (2014), pp. 121-129 (23)

51. K.L. Getter, D.B. Rowe, J.A. Andresen, Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention, *Ecol. Eng.* 31 (2007) 225–231
52. Kasprzyk, M., Szpakowski, W., Poznańska, E., Boogaard, F.C., Bobkowska, K., Gajewska, M., 2022. Technical solutions and benefits of introducing rain gardens – Gdańsk case study. *Sci. Total Environ.* 835, 155487.
53. Kiran Tota-Maharaj, P Grabowiecki, A Babatunde, S.J. Coupe. The performance and effectiveness of geotextiles within permeable pavements for treating concentrated stormwater Sixteenth International Water Technology Conference, 16 (2012), pp. 1-13 (24)
54. K.J.H. Williams, K.E. Lee, L. Sargent, K.A. Johnson, J. Rayner, C. Farrell, et al. Appraising the psychological benefits of green roofs for city residents and workers *Urban For Urban Green*, 44 (2019), Article 126399 (25)
55. Lei K-T, Tang J-S, Chen P-H. Numerical simulation and experiments with green roofs for increasing indoor thermal comfort. *J Chin Inst Eng* 2019;42:346–56.
56. L.S. Yu, J.-T. Kuo, A.E. Fassman, H. Pan Field test of grassed-swale performance in removing runoff pollution *J. Water Resour. Manag.*, 127 (2001), pp. 168-171 (26)
57. L. Bortolini, G. Zanin Hydrological behaviour of rain gardens and plant suitability: a study in the Veneto plain (north-eastern Italy) conditions *Urban For. Urban Green.*, 34 (2018), pp. 121-133 (27)
58. Lucke, T., Mohamed, M.A.K., Tindale, N., 2014. Pollutant removal and Hydraulic reduction performance of field grassed swales during runoff simulation experiments. *Water (Switzerland)* 6, 1887–1904
59. Mahmoud, A., Alam, T., Yeasir, A., Rahman, M., Sanchez, A., Guerrero, J., Jones, K.D., 2019. Evaluation of field-scale stormwater bioretention structure flow and pollutant load reductions in a semi-arid coastal climate. *Ecol. Eng.* 142, 100007.
60. Maiolo M, Carini M, Capano G, Piro P. Life cycle assessment (LCA) for water re use system of a green roof. *Adv Mater Sci Eng* 2018;2.
61. M. Ottel , *Vertical Greened Surfaces and the Potential to Reduce Air Pollution and the Improvement of the Insulation Value of Buildings*, (2010)

62. M. Leisenring, P. Hobson, J. Clary, J. Krall, (2013). International Stormwater Best Management Practices (BMP) Database Advanced Analysis: Influence of Design Parameters on Achievable Effluent Concentrations. International Stormwater BMP Database (28)
63. M. Manso, J. Castro-Gomes, Green wall systems: a review of their characteristics, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 41 (2015) 863–871,
64. M. Shafique, R. Kim, N. Rafiq Green roof benefits, opportunities and challenges- A review *Renew Sustain Energy Rev*, 90 (2018), pp. 757-773 (29)
65. M. Tomson, P. Kumar, Y. Barwise, P. Perez, H. Forehead, K. French, et al. Green infrastructure for air quality improvement in street canyons *Environ Int*, 146 (2021), Article 106288 (30)
66. M. Turco, G. Brunetti, S.A. Palermo, G. Capano, G. Grossi, M. Maiolo, P. Piro. On the environmental benefits of a permeable pavement: metals potential removal efficiency and Life Cycle Assessment *Urban Water J.*, 17 (7) (2020), pp. 619-627 (31)
67. N.D. VanWoert, D.B. Rowe, J.A. Andresen, C.L. Rugh, R.T. Fernandez, L. Xiao, Green roof stormwater retention, *J. Environ. Qual.* 34 (2005) 1036.
68. New Jersey Department of Environmental Protection. New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual, 2004.
69. O. Saadatian, K. Sopian, E. Salleh, C.H. Lim, S. Riffat, E. Saadatian, et al. A review of energy aspects of green roofs *Renew Sustain Energy Rev*, 23 (2013), pp. 155-168 (32)
70. P. Duvall, M. Lennon, M. Scott, P. Duvall, M. Lennon, M. Scott The ‘natures’ of planning: evolving conceptualizations of nature as expressed in urban planning theory and practice *nature as expressed in urban planning theory and practice Eur. Plan. Stud.* (2018), p. 4313 (33)
71. P. Paul, K. Tota-Maharaj Laboratory studies on granular filters and their relationship to geotextiles for stormwater pollutant reduction *Water*, 7 (4) (2015), pp. 1595-1609 (34)

72. Pirouz B, Palermo SA, Turco M. Improving the efficiency of green roofs using atmospheric water harvesting systems (an innovative design). *Water* 2021;13: 546.
73. Pitt, R. *The Source Loading and Management Model (WinSLAMM): Introduction and Basic Uses*, 2003.
74. P.M.F. van de Wouw, E.J.M. Ros, H.J.H. Brouwers. Precipitation collection and evapo(transpi)ration of living wall systems: A comparative study between a panel system and a planter box system. *Building and Environment*, Volume 126, December 2017, Pages 221-237 (35)
75. Prince George's County Design Manual for Use of Bioretention in Stormwater Management. Maryland (1993) (36)
76. R.M. Pulselli, F.M. Pulselli, U. Mazzali, F. Peron, S. Bastianoni Energy based evaluation of environmental performances of Living Wall and Grass Wall systems *Energy Build.*, 73 (2014), pp. 200-211 (37)
77. R. Seyedabadi, U. Eicker, S. Karimi Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint *Environ Chall*, 4 (2021), Article 100119 (38)
78. R. White, J. Turpie, G. Letley *Greening Africa's Cities: Enhancing the Relationship between Urbanization, Environmental Assets and Ecosystem Services* World Bank Publications, Washington, DC (2017) (39)
79. R.J. Winston, K. Arend, J.D. Dorsey, W.F. Hunt Water quality performance of a permeable pavement and stormwater harvesting treatment train stormwater control measure *Blue-Green Systems*, 2 (1) (2020), pp. 91-111 (40)
80. S. Charoenkit, S. Yiemwattana, Living walls and their contribution to improved thermal comfort and carbon emission reduction: a review, *Build. Environ.* 105 (2016) 82–94
81. Sharma, A.K., Vezzaro, L., Birch, H., Arnbjerg-Nielsen, K., Mikkelsen, P.S., 2016. Effect of climate change on stormwater runoff characteristics and treatment efficiencies of stormwater retention ponds: a case study from Denmark using TSS and Cu as indicator pollutants. *SpringerPlus* 5, 1984

82. S. Gavrić, G. Leonhardt, J. Marsalek, M. Viklander Processes improving urban stormwater quality in grass swales and filter strips: a review of research findings *Sci. Total Environ.*, 669 (2019), pp. 431-447 (41)
83. S. Inti, T.W. Evans III, M. Flores, J.S. Solanki, Chandramouli V. Chandramouli Permeable low-density cellular concrete (PLDCC) as a replacement for aggregate layers in permeable parking lots *Developments in the Built Environment* Volume 8, September 2021, 100060 (42)
84. Soil Conservation Service. *Urban Hydrology for Small Watersheds*, second edition, Technical Release 55. U.S. Department of Agriculture, 1986.
85. S.S. Alcazar, F. Olivieri, J. Neila Green roofs: experimental and analytical study of its potential for urban microclimate regulation in Mediterranean-continental climates *Urban Clim*, 17 (2016), pp. 304-317 (43)
86. Stuckmann, M. P. (n.d.). Perennial Garden Chart. Perennial Garden Chart | ZinCo Green Roof Systems USA. <https://zinco-usa.com/node/574>.
87. Sun, Y., Wei, X., Pomeroy, C.A., 2011. Global analysis of sensitivity of bioretention cell design elements to hydrologic performance. *Water Sci. Eng.* 4, 246–257.
88. Suszanowicz D, Kolasa Więcek A. The impact of green roofs on the parameters of the environment in urban areas—review. *Atmosphere* 2019;10:792.
89. Tams L, Nehls T, Calheiros CSC. Rethinking green roofs- natural and recycled materials improve their carbon footprint. *Build Environ* 2022;219:109122.
90. U. Berardi, A.H.G. Hoseini, A. GhaffarianHoseini State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs *Appl Energy*, 115 (2014), pp. 411-428 (44)
91. Vacek P, Struhala K, Matějka L. Life-cycle study on semi intensive green roofs. *J Clean Prod* 2017;154:203–13.
92. Van Renterghem T, Hornikx M, Forssen J, Botteldooren D. The potential of building envelope greening to achieve quietness. *Build Environ* 2013;61:34–44.
93. Wang X, Li H, Sodoudi S. The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. *Build Environ* 2022.

94. Woodward, D.E., R.H. Hawkins, R. Jiang, A.T. Hjelmfelt, J.A. Van Mullem, and D.Q. Quan. "Runoff Curve Number Method: Examination of the Initial Abstraction Ratio," World Water & Environmental Resources Congress, 2003: Proceeding of the Congress: June 23-26, 2003. Philadelphia, PA, 2003.
95. Xiao, Qingfu., E. Gregory McPherson, and James R. Simpson. "Hydrologic Processes at the Residential Scale." UC Davis, Center for Urban Forest Research, USDA Forest Service, Hydrologic Sciences Program. (45)
96. Y. Gong, X. Zhang, J. Li, X. Fang, D. Yin, P. Xie, et al. Factors affecting the ability of extensive green roofs to reduce nutrient pollutants in rainfall runoff *Sci Total Environ*, 732 (2020), Article 139248 (46)
97. Yuxin Zhu, Hui Li, Bing Yang, Xue Zhang, Saifullah Mahmud, Xiaochun Zhang, Bo Yu, Yaoting Zhu Permeable pavement design framework for urban stormwater management considering multiple criteria and uncertainty *Journal of Cleaner Production* Volume 293 15 April 2021, 126114 (47)
98. Yong, L., Tian, L., & Hangyu, P. (2018). A new structure of permeable pavement for mitigating urban heat island. *Science of the Total Environment*, 634, 1119–1125 (48)
99. Zhang, S., Lin, Z., Zhang, S., Ge, D., 2021. Stormwater retention and detention performance of green roofs with different substrates: observational data and hydrological simulations. *J. Environ. Manag.* 291, 112682.
100. ДСТУ Б В.2.5-26:2005 Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Люки оглядових колодязів і дощоприймачі зливостічних колодязів.
101. ДБН В.2.6-14-97 Покриття будинків і споруд (з поправкою, опублікованою в журналі «Будівництво України», 2002, № 4, с.42). – Київ, 1998. – 108 с.
102. ДБН В.2.6–220:2017 Покриття будівель і споруд. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 46 с.

103. ДБН Б. 2.2-12: 2018 Планування і забудова територій. – Київ: Укрархбудінформ, 2018. – 179 с.
104. ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід і каналізація. – С.14-59.
105. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – С.24-59.
106. ДСТУ Б EN 1433:2016 Лотки водовідвідні для транспортних і пішохідних зон. Класифікація, вимоги до виготовлення, методи випробувань, маркування та оцінка відповідності (EN 1433:2002, IDT+EN 1433:2002/A1:2005, IDT+EN 1433:2002/AC:2004, IDT)
107. ДСТУ ISO 14040:2013 Екологічне управління. Оцінювання життєвого циклу. Принципи та структура (ISO 14040:2006, IDT).
108. ДСТУ – Н Б В. 1.1 – 27:2010 Будівельна кліматологія. – Київ: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
109. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний.
110. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною.
111. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Міністерство охорони здоров'я України, 1996 р.
112. Екологічний паспорт міста Києва. 2021р. – С.1-14-22.
113. Екопаспорт Київської області за 2021р. – С.1-63.
114. Інженерна екологія: Підручник з теорії і практики сталого розвитку / В.А. Баженов, В.М. Усаєнко, Ю.В. Саталкін, В.В. Трофімович, З.М. Романова, В.М. Навроцький. – Київ: Вид-во НАУ, 2006. – 490 с.
115. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату (укр/рос).
116. Наказ № 173 «Про затвердження державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів» від 19.06.96.
117. Пріоритети екологічної компоненти сталого розвитку регіонів [Електронний ресурс] / О.І. Мороз, М.С. Мальований, І.М. Петрушка та ін. //



- б-а міжнародна науково-практична конференція «Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку – КМХТ-2018», секція 5 «Сталий розвиток регіонів». – 2018. – С. 244-246.
118. Ткаченко Т. М. Проблеми класифікації та використання «зелених конструкцій» в екологізації сучасних міст // Екологічні науки: науково-практичний журнал. - № 1(20). – Т.2. – К.: ДЕА, 2018. – С. 21-24.
119. Ткаченко Т. М. Проблеми класифікації та використання «зелених конструкцій» у екологізації сучасних міст. Архітектура. Будівництво. Дизайн. // III Міжнар. наук.-практичн. конгрес: «Міське середовище – XXI ст.», тези доповідей. – Київ: НАУ, 2018. – С. 50-52.
120. Ткаченко Т.М. Зелені конструкції у концепції сталого розвитку сучасних міст / Т.М. Ткаченко, В.О. Мілейковський // Сб. научн. тр. ГВУЗ «ПГАСА»: Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия: Создание высокотехнологических экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития. – Днепр: ГВУЗ «ПГАСА», 2017. – С. 179-186.
121. Трофімович В.В. Гармонізація відносин людини і природи / В.В. Трофімович, В.М. Удод // Екологія і ресурси, 2005. – Вип. 13. – С. 86-90.
122. Указ про прийняття Стратегії сталого розвитку «Україна – 2020».

## Додатки А

### Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Глущенко Р., Ткаченко Т. Збереження, якість та використання дощової води після «зеленої» покрівлі. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – Вип. 42, К.: КНУБА, 2023. – С. 4-12. **(Фахове видання)**

*Особистий внесок здобувача полягає у зборі проб дощової води для хімічного аналізу в лабораторії; формування пропозиції щодо встановлення та розрахунку накопичувальних баків для дощової води у житловому будинку.*

2. Hlushchenko R., Tkachenko T., Mileikovskiy V., Kravets V., Tkachenko O. Green structures for effective rainwater management on roads. Production Engineering Archives. 2022. Vol. 28. Iss. 4. P. 295–299. ISSN 2353-5156, 2353-7779 **(SCOPUS Q2, WoS)**

*Особистий внесок здобувача полягає у формуванні концепції відведення надлишку дощових вод з автошляхів.*

3. Глущенко Р. О., Ткаченко Т. М., Мілейковський В. О. Ефективне відведення дощової води з доріг Дощовими садами-смугами у концепції міста-губки. Екологічна безпека та природокористування. –Вип.40. - К.:КНУБА, 2021. – С. 48-61. **(Фахове видання)**

*Особистий внесок здобувача полягає у виявленні етапів виникнення об'ємів дощового стоку та шляхи їх розподілу.*

### **Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

4. Tkachenko T., Voloshkina O., Mileikovskiy V., Sipakov R., Hlushchenko R., Tkachenko O. Using Rain-Garden Bands for Rainwater Drainage from Roads. World Environmental and Water Resources Congress 2023. Reston: ASCE, 2023, P. 1207-1214 **(SCOPUS)**

*Особистий внесок здобувача полягає у розробленні технічного рішення для збору дощової води з багаторівневих доріг.*

5. Ткаченко Т. М. Глущенко Р. О. Зелені покрівлі на поверхнях бетонних мегаполісів. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Green

Construction» («Зелене будівництво»). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури. 2023, С. 66-69.

*Особистий внесок здобувача полягає у розрахунку об'єму дощового стоку на поверхні даху з системою «зеленої» покрівлі.*

6. Ткаченко Т., Мілейковський В., Глущенко Р. Наслідки підризу Каховської ГЕС та їхня компенсація методами зеленого будівництва. Екотехногенні наслідки руйнування гідротехнічних споруд. Прогнози та перспективи відновлення: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції 20 червня 2023 р. – Київ: КНУБА, 2023. – С. 9-11.

*Особистий внесок здобувача полягає у розробці проєкту «зеленої» покрівлі для навчального корпусу КНУБА.*

7. Глущенко Р. О., Ткаченко Т. М. Можливості використання дощової води після фільтрації зеленими покрівлями. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний конгрес, 12-14 жовтня 2022, Україна, Львів: Збірник матеріалів — Київ: Яроченко Я. В., 2022. — С.98.

*Особистий внесок здобувача полягає у дослідженні показників хімічного складу дощової води після системи «зеленої» покрівлі та подальше її вторинне використання.*

8. Ткаченко Т., Мілейковський В., Глущенко Р., Ткаченко О. "Зелені конструкції" – перспективна біотехнологія післявоєнного відновлення будівель. Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, ресурси, енергія», Київ, 23-25 листопада 2022 р. Робоча програма та тези доповідей. Київ, 2022. С. 12-13.

*Особистий внесок здобувача полягає у визначені місця «зелених» конструкцій у системі «зеленого» будівництва.*

9. Tkachenko T., Hlushchenko R., Mileikovskiy V., Ujma A. Effective drainage of rainwater from roads by rain gardens-strips in the concept of the city-sponge. II Міжнародна науково-практична конференція «Екологія. Ресурси. Енергія», 24-26 листопада 2021 р. – К.: КНУБА. – С. 41-42.

*Особистий внесок здобувача полягає у виявленні етапів виникнення об'ємів дощового стоку та шляхи їх розподілу.*

10. Глущенко Р. О., Ткаченко Т. М. Зелені технології для регулювання дощових стоків. Актуальні проблеми, пріоритетні напрямки та стратегії розвитку України: тези доповідей I Міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, м. Київ, 15 березня 2021 року/ редкол. О.С. Волошкіна та ін. – К.: ІТТА, 2021. – С. 51-53.

*Особистий внесок здобувача полягає у обґрунтуванні проблеми затоплень міст та напрямки щодо їх вирішення за допомогою «зелених» конструкцій.*

11. Hlushchenko R. O., Tkachenko T. M. "Green" technologies as an element of the sustainable development system. Тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні», 21-22 травня 2020 року, Харків: ХНУБА. 2020. С. 12-14.

*Особистий внесок здобувача полягає у обґрунтуванні місця «зелених» конструкцій в концепції сталого розвитку.*

12. Ткаченко Т. М., Глущенко Р. О. Регулювання дощових стічних вод за допомогою зелених конструкцій. Зелене будівництво: Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції. – Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2019. – С.46-47.

*Особистий внесок здобувача полягає у пропонуванні методів регулювання дощових стічних вод за допомогою «зелених» конструкцій.*

## Додатки Б

## Лист підтримки ТОВ «КАН БУД»



ТОВ «КАНБУД»

08.06.2023 №23

## Лист підтримки

**Щодо впровадження результатів дисертаційної роботи Глушенка Романа Олександровича на здобуття наукового ступеня доктор філософії за темою: УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ДОЩОВОЇ КАНАЛІЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ «ЗЕЛЕНИХ» КОНСТРУКЦІЙ**

Даний акт складений про те, що результати дисертаційної роботи Глушенка Романа Олександровича за темою:

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ДОЩОВОЇ КАНАЛІЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ «ЗЕЛЕНИХ» КОНСТРУКЦІЙ

інтегровані в будівництво житлових комплексів «FAYNATOWN» та «RESPUBLIKA» від «KAN DEVELOPMENT» та «KAN BUD». А саме, впроваджено комплексну концепцію прийому, накопичення, відводу та нейтралізація(мінімізація) дощових стічних вод.

Концепція включає в собі:

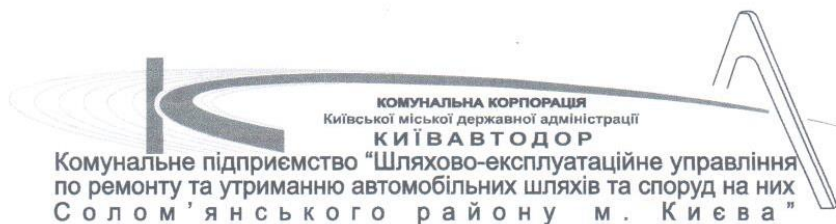
- 1) проєктування та встановлення **зеленої покрівлі** екстенсивного/інтенсивного типу на дахах житлових та громадських спорудах, для покращення кліматичних показників, як навколишнього середовища так і самої будівлі (зменшення ефекту «теплового острова» в місті; зменшення теплопровідності даху; покращення шумоізоляції; очищення повітря шляхом поглинання шкідливих речовин зеленими насадженнями покрівлі; зменшення об'єму дощових стоків на систему каналізації);
- 2) встановлення **накопичувальних(акумуляюючих) баків** для прийому дощової води з покрівельної площі споруди та подальше її використання для технічних потреб (полив та очищення прилеглих територій (в теплий сезон року)) експлуатуючої компанії ;
- 3) проєктування та будівництво **дренажних(поглинаючих) каналів** шириною 0,15м – 0.4м вздовж асфальтного покриття в місцях примикання його до бордюрів.

Генеральний директор  
ТОВ «КАНБУД»



Валерій ГУДОВ

## Лист підтримки КП «ШЕУ Солом'янського району м. Києва»



Україна, 03151, м.Київ, вул. Народного Ополчення, 16 тел./факс: (044)249-09-71  
e-mail: GOO278@ukr.net Код ЄДРПОУ 31806946

21.09.2023 № 1565

На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

## Лист підтримки

Щодо впровадження результатів дисертаційної роботи Глушенка Романа Олександровича на здобуття наукового ступеня доктор філософії за темою: УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ДОЩОВОЇ КАНАЛІЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ «ЗЕЛЕНИХ» КОНСТРУКЦІЙ

Даний акт складений про те, що результати дисертаційної роботи Глушенка Романа Олександровича за темою: ДОЩОВОЇ КАНАЛІЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ «ЗЕЛЕНИХ» КОНСТРУКЦІЙ

розглянуті, проаналізовані та в майбутньому можуть бути інтегровані в будівництві, капітальному та поточному ремонті житлової, комунальної та дорожньо-транспортної інфраструктури. А саме, впроваджено комплексну концепцію прийому, накопичення, відводу та нейтралізація(мінімізація) дощових стічних вод.

Концепція включає в собі:

1) проектування та встановлення **зеленої покрівлі** екстенсивного/інтенсивного типу на дахах житлових та громадських спорудах, для покращення кліматичних показників, як навколишнього середовища так і самої будівлі (зменшення ефекту «теплого острова» в місті; зменшення теплопровідності даху; покращення шумоізоляції; очищення повітря шляхом поглинання шкідливих речовин зеленими насадженнями покрівлі; зменшення об'єму дощових стоків на систему каналізації);

2) встановлення **накопичувальних(акумуляючих) баків** для прийому дощової води з покрівельної площі споруди та подальше її використання для технічних потреб (полив та очищення прилеглих територій (в теплий сезон року)) експлуатуючої компанії ;

3) проектування та будівництво **дренажних(поглинаючих) каналів** шириною 0,15м – 0.4м вздовж асфальтного покриття в місцях примикання його до бордюрів.

Начальник



Володимир ФЕДЧИШИН



## Протокол апробації КНУБА



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Повітрофлотський пр. 31, м. Київ – 37, 03037, тел. (044) 241-55-80, факс (044) 248-32-65  
E-mail: knuba\_admin@ukr.net, Web: http://www.knuba.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070909

*29.08.2023* № *12-1.9/444*

на № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

### ПРОТОКОЛ

щодо апробації результатів дисертаційної роботи Глуценка Романа Олександровича на здобуття наукового ступеня доктор філософії за темою:  
«УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ДОЩОВОЇ КАНАЛІЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ «ЗЕЛЕНИХ» КОНСТРУКЦІЙ»

Даний протокол складений про те, що проєкт реалізації зеленої покрівлі «Парк на даху університету», який розроблений за ініціативою Глуценка Романа Олександровича та є частиною його дисертаційної роботи, було розглянуто на засіданні ректорату Київського національного університету будівництва і архітектури (протокол № 89 від 21.08.2023). Концепція проєкту отримала підтримку ректорату для подальшої реалізації як пілотного проєкту. Передбачається встановлення системи мембран та накопичувальних баків для зменшення об'єму дощових стоків на систему каналізації К2 та для прийому дощової води з покрівельної площі споруди з метою подальшого її використання для технічних потреб.

Проректор з наукової роботи та  
інноваційного розвитку КНУБА



*[Signature]* Олександр КОВАЛЬЧУК