

Дощові сади як природоорієнтоване рішення для очищення та управління міськими зливовими стоками

Давиденко Григорій, аспірант (ORCID: 0009-0002-6952-5086)

Василенко Леся Олексіївна, кандидат технічних наук, доцент (ORCID: 0000-0003-4201-5481)

Київський національний університет будівництва і архітектури, м.Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Інтенсивна урбанізація та збільшення площі непроникних поверхонь у містах призводять до значних змін у гідрологічному циклі, спричиняючи часті підтоплення та забруднення водних об'єктів. Традиційна "сіра" інфраструктура виявляється недостатньо ефективною для вирішення цих проблем. У доповіді розглядаються дощові сади як природоорієнтоване рішення (Nature-based Solution, NbS) для управління міськими зливовими стоками. Проаналізовано принципи їх функціонування, конструктивні особливості та гідрологічну ефективність на основі міжнародного досвіду в рамках концепцій LID (Low Impact Development), WSUD (Water-Sensitive Urban Design) та "Місто-губка" (Sponge City). Показано, що дощові сади здатні значно зменшувати об'єм та пікові витрати стоку, ефективно видаляти забруднюючі речовини та можуть бути інтегровані в міську інфраструктуру як багатофункціональні елементи для адаптації до зміни клімату.

Ключові слова: дощовий сад, природоорієнтовані рішення, управління зливовими стоками, сталий міський дренаж, місто-губка, гідрологічна ефективність.

1. ВСТУП

Стрімка урбанізація та заміна природних ландшафтів на асфальт і бетон докорінно змінюють гідрологічний режим міст. Зростання непроникних поверхонь збільшує об'єми та швидкість поверхневого стоку, перевантажує системи водовідведення, спричиняє підтоплення, економічні збитки й погіршення якості води у міських водоймах. [1].



Рис. 1. Ілюстрація проблеми. Порівняльне фото міської площі до та після реконструкції.

Традиційна «сіра» інфраструктура (трубопроводи, колектори) лише відводить воду, не забезпечуючи її очищення й відновлення водного балансу, та виявляється вразливою до зростання екстремальних опадів унаслідок зміни клімат [2]. Сучасною альтернативою є концепція природоорієнтованих рішень (NbS), яка інтегрує природні процеси в інженерну практику (Рис. 1.) [1]. Дощові сади (rain gardens), як один із ключових елементів таких глобальних концепцій, як Low Impact Development (LID) в США, Water-Sensitive Urban Design (WSUD) в Австралії та "Місто-губка" в Китаї, демонструють високу ефективність у вирішенні цих комплексних завдань [5].

2. МЕТА

Обґрунтувати ефективність дощових садів як природоорієнтованого рішення для управління міськими зливовими стоками, оцінити їхню гідрологічну та екологічну результативність, а також можливості інтеграції в міську інфраструктуру з урахуванням міжнародного досвіду.

3. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Дощовий сад – це інженерно-біологічна система для збору, затримання та очищення зливого стоку, що імітує природні ландшафти. Він являє собою заглиблену ділянку з

шарами рослинного ґрунту, фільтруючої суміші та дренажу (Рис. 2.) [2].

На поверхні висаджують місцеві вологолюбні та стійкі до періодичних затоплень і засух рослини, коренева система яких допомагає підтримувати пористість ґрунту [4].

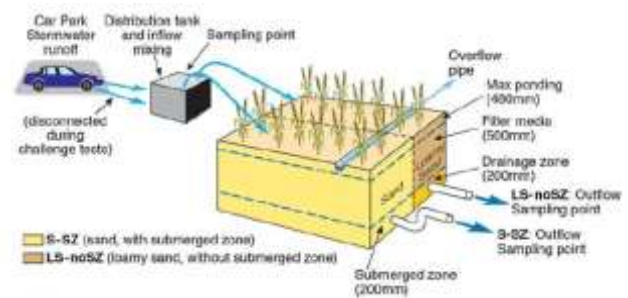


Рис. 2. Схематичний приклад конструкції дощового саду.

Принцип дії дощового саду базується на комплексі природних процесів:

- Затримання та інфільтрація:** Сад тимчасово акумулює стік (у заглибленні до 0,3-0,5 м), дозволяючи воді повільно просочуватися в ґрунт, що поповнює запаси ґрунтових вод та зменшує навантаження на каналізаційну мережу.
- Фільтрація та седиментація:** Проходячи через шари ґрунту та щільну кореневу систему рослин, вода механічно очищується від зважених часток, сміття та пов'язаних з ними забруднювачів.
- Адсорбція та біологічне поглинання:** Забруднюючі речовини, такі як важкі метали з дорожнього стоку, нафтопродукти, а також поживні елементи (азот, фосфор) з добрив, зв'язуються з частками ґрунту та поглинаються рослинами (фіторе mediaція) і мікроорганізмами в ризосфері.
- Евапотранспірація:** Значна частина води повертається в атмосферу через випаровування з поверхні та транспірацію рослин, що сприяє охолодженню мікроклімату.

Численні дослідження підтверджують високу ефективність дощових садів у кількісному та якісному управлінні стоками. Моделювання показує, що встановлення дощових садів, які займають 5-10% площі водозбору, дозволяє зменшити загальний об'єм річного стоку на 18-30% та знизити пікові витрати на 18-32% [1]. Практичні дослідження демонструють ще вищі показники – зменшення об'єму стоку до 40-90%, що дозволяє повністю

утримувати невеликі та середні дощі, які є найбільш частими і найбільше впливають на забруднення водою [4].

Щодо якості води, дощові сади ефективно видаляють широкий спектр забруднювачів:

•**Зважені речовини (TSS):** понад 90%, що є ключовим, оскільки багато інших поллютантів адсорбовані на їх поверхні.

•**Фосфор (TP):** ефективність може бути різною (30-50%), але значно покращується при використанні спеціальних фільтруючих матеріалів з високою сорбційною здатністю.

•**Важкі метали (Cu, Zn, Pb, Cd):** понад 80-90%, що особливо важливо для стоку з доріг та парковок.

•**Азот (TN):** ефективність сильно залежить від конструкції. В аеробних умовах відбувається нітрифікація, але для видалення нітратів (денітрифікації) рекомендується створення насиченої (анаеробної) зони в нижній частині фільтруючого шару, що може підвищити загальне видалення азоту до 50-60% [2, 4].

Найкращі результати досягаються при використанні дощових садів у комплексі з іншими елементами WSUD. Такий підхід, відомий як "ланцюг очищення" (treatmenttrain), передбачає послідовне проходження стоку через різні об'єкти (наприклад, проникне покриття → вегетаційний рів → дощовий сад), що забезпечує максимальний ступінь очищення та гідрологічного контролю [4].

Сучасний підхід розглядає дощові сади не просто як елемент дренажу, а як багатофункціональний об'єкт міської інфраструктури, що сприяє адаптації до зміни клімату. Інноваційні рішення, такі як концепція "Міського оазису", пропонують інтеграцію дощового саду з елементами міських меблів, створюючи модульні, адаптивні та технологічно насичені рішення [3].

Така синергія "зеленої" та "розумної" інфраструктури дозволяє вирішувати одразу кілька завдань, створюючи додаткові переваги (co-benefits):

•**Адаптація до клімату:** Зменшення ефекту "міського острова тепла" на 2-7°C завдяки випаровуванню та наявності рослинності, що підвищує тепловий комфорт у громадських просторах [1, 3].

•**Підвищення біорізноманіття:** Створення локальних "гарячих точок" біорізноманіття – середовища існування для комах-запилювачів, птахів та інших видів, що є критично важливим для стійкості міських екосистем.

•**Соціально-економічна функція:** Покращення естетичної привабливості громадських просторів, створення місць для відпочинку та соціальної взаємодії, підвищення вартості нерухомості та сприяння екологічній обізнаності мешканців [1].

•**"Розумне місто":** Можливість інтеграції в конструкцію саду датчиків моніторингу якості повітря та води, кліматичних сенсорів, адаптивного освітлення, динаміків для створення звукового ландшафту, систем автоматичного поливу та навіть зарядних станцій для електротранспорту [3].

4. АКТУАЛЬНІСТЬ

Стрімка урбанізація та зростання площі непроникних поверхонь у містах призводять до перевантаження систем водовідведення, підтоплення і погіршення якості води, що потребує впровадження ефективних рішень для управління зливовими стоками. Зміна клімату та збільшення інтенсивності опадів ще більше загострюють проблему водного балансу міських територій, що робить необхідним пошук альтернативи традиційній «сірій» інфраструктурі. У цьому контексті природоорієнтовані рішення, зокрема

дощові сади, набувають особливої важливості як ефективний інструмент для зменшення об'ємів стоку, його очищення та підвищення екологічної стійкості міст.

5. ВИСНОВКИ

Дощові сади є доведеним та ефективним природоорієнтованим рішенням, що дозволяє комплексно вирішувати проблеми управління зливовими стоками, які загострюються внаслідок урбанізації та зміни клімату. Вони одночасно та ефективно впливають на гідрологічний режим (зменшення об'ємів стоку та ризику підтоплення) та якість води (очищення від широкого спектру забруднювачів), відновлюючи елементи природного водного циклу в міському середовищі.

Їхня багатофункціональність та здатність генерувати численні екологічні, соціальні та економічні переваги робить дощові сади незамінним інструментом для підвищення стійкості, екологічності та комфортності міського середовища. Подальший розвиток та успішне впровадження цих рішень вимагає переходу від поодиноких проєктів до широкої імплементації в рамках системного підходу до міського планування та дизайну. Це передбачає інтеграцію "зеленої", "сірої" та "розумної" інфраструктури для створення по-справжньому адаптивних, стійких та "водно-чутливих" міст майбутнього.

Список літератури

- [1] Widomski M.K., Musz-Pomorska A. Hydrologic Efficiency of Rain Gardens as Countermeasure to Overuse of Concrete in Historical Public Spaces. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 6. P. 25,27. <https://doi.org/10.3390/su17062527>
- [2] Wang X.C., Fu G. (Eds.) *Water-Wise Cities and Sustainable Water Systems: Concepts, Technologies, and Applications*. IWA Publishing, 2021. 474 p. https://library.oapen.org/bitstream/id/d825e277-e58e-4b00-a526-eb281b34c0c5/external_content.pdf
- [3] Sádaba J., Luzarraga A., Lenzi S. Designing for Climate Adaptation: A Case Study Integrating Nature-Based Solutions with Urban Infrastructure. *Urban Science*. 2025. Vol. 9, No. 3. P. 74. <https://doi.org/10.3390/urbansci9030074>
- [4] Rashetnia S., Sharma A.K., Ladson A.R., Browne D., Yaghoubi E. Effectiveness of Water-Sensitive Urban Design Techniques on Stormwater Quantity Management at a Residential Allotment Scale. *Water*. 2025. Vol. 17, No. 6. P. 8-99. <https://doi.org/10.3390/w17060899>
- [5] Ren N., Wang X., Bai S. Chinese version of water-wise cities: Sponge City initiative. In: *Water-Wise Cities and Sustainable Water Systems: Concepts, Technologies, and Applications*. IWA Publishing, 2021. P. 53-75. https://library.oapen.org/bitstream/id/d825e277-e58e-4b00-a526-eb281b34c0c5/external_content.pdf