

## ЗБЕРЕЖЕННЯ, ЯКІСТЬ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДОЩОВОЇ ВОДИ ПІСЛЯ «ЗЕЛЕНОЇ» ПОКРІВЛІ

Роман Глущенко<sup>1</sup>, Тетяна Ткаченко<sup>2</sup>

Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, Повітрофлотський пр., м. Київ, Україна, 03037

<sup>1</sup>аспірант, gr2017inc@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2863-1480>

<sup>2</sup>докт. техн. наук, tkachenkoknuba@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2105-5951>

DOI: 10.32347/2524-0021.2023.42.4-12

**Анотація.** Питання 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 повторними використанням водних ресурсів. Один із багатьох методів ефективного і при цьому найбільш природного управління водними ресурсами є «зелені» конструкції. Це – біотехнологічні засоби, що поєднують будівельні конструкції та живі рослини. У даній роботі розглянуто впровадження та створення «зелених» покрівель для збору, накопичення та повторного використання дощових стічних вод. Було проаналізовано хімічний склад води після її проходження через «зелену» покрівлю, а також звичайні дощові стоки з покрівлі будівлі житлового комплексу “Республіка”. Забір проб води проводився в грудні 2021 р. під час опадів. Показано, що концентрація домішок у стічній воді з “зелених покрівель” не перевищує допустимих значень для води питної якості. Окрім цього, було представлено фінансові витрати на будівництво звичайної та «зеленої» покрівель. Додаткові витрати на створення «зеленої» покрівлі становитимуть 20,89 % до загальної вартості матеріалів та 63,49 % до загальної вартості робіт для будівництва стаціонарної покрівлі. Розглянуто засоби для повторного використання дощової води на “зелених” покрівлях. Показано, що завдяки утриманню води шарами “зеленої” покрівлі площею 490 м<sup>2</sup> достатньо передбачити бак об’ємом 150...250 дм<sup>3</sup>. Надано дані про обсяги використаної води для технічних потреб (поливання) з ЖК «Файна-Таун» в м. Києві. Показано, що накопиченої дощової води достатньо для задоволення потреб на поливання прибудинкової території.

**Ключові слова:** водні ресурси, вторинне використання води, дощова вода, “зелена” покрівля, хімічний аналіз.

### ВСТУП

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.

Одним з перспективних методів збереження водних ресурсів є вторинне використання дощової води та її тимчасове зберігання. Серед ефективних засобів найбільш природним є «зелені» конструкції – біотехнологія, що поєднує будівельні конструкції та живі рослини.

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 [1], 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.

Усі зелені конструкції на відміну від інженерних систем вирішують одночасно різні проблеми [2-13] з різних галузей будівництва й охорони навколишнього середовища. Зокрема, впровадження таких покрівель позитивно вплине на навколишнє середовище за багатьма показниками, починаючи від зменшення викидів CO<sub>2</sub>, покращення мікрокліматичних умов до зменшення експлуатаційних витрат будівлі.

Якщо раніше дощові стічні води розглядалися як непотрібний міський ресурс, якого потрібно швидко позбутися за допомогою інженерних колекторних систем, то зараз підхід повністю змінено [14, 15]. 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 [16]. “Зелені” покрівлі є одним з засобів-губок у концепції «міста-губки», для природного управління дощовими водами [17].

Сучасні підходи до озеленення покрівлі, з використанням спеціальних шарів для ви-

саджування рослинності, захисту від коріння, дренажу тощо з’явилася відносно недавно. Однак, «зелені покрівлі» існують [18] вже кілька тисячоліть – з передісторії, тобто до появи писемності. Покриті дерном берестяні дахи відомі в середньовічній Скандинавії [19].

Сучасні технології висадження рослин на покрівлях [20] започаткував Карл Рабітц наприкінці ХІХ століття, коли на Паризькій виставці представив будинок із екстенсивною (не експлуатованою) “зеленою покрівлею” з гідроізоляцією та дренажем.

З цього часу почався активний розвиток і розповсюдження “зелених” покрівель в різних країнах світу. Використання їх для збирання дощової води є предметом багатьох досліджень, зокрема [21-26]. Ці дослідження проведено в різних регіонах світу. В Україні ж подібних досліджень не достатньо для доведення ефективності даного методу.

Метою даної роботи є визначення кількісних і якісних показників ефективності баків для накопичення дощової води з “зелених” покрівель, розташованих в верхньому шарі ґрунту або біля фундаментів будівель та підвальних приміщень.

## ХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОБ ВОДИ

Для визначення хімічного складу води після проходження її через “зелену” покрівлю було проведено натурні дослідження. Для експерименту задіяно адміністративну будівлю в м. Києві, в новому кварталі ЖК «Республіка» (рис.1).

Забір води проводився в грудні 2021 р., під час опадів. 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 з тераси житлового будинку (рис.2). Аналізи хімічного складу води виконано в «Лабораторії води» Київського національного університету будівництва і архітектури (табл. 1).



Рис. 1. Адміністративна будівля з «зеленою» покрівлею та колодязь K2-2

Fig. 1. Administrative building with a "green" roof and well K2-2



Рис.2. Житловий будинок без озеленення покрівлі та колодязь K2

Fig. 2. Residential building without "green" roof and well K2

Наведені в табл. 1 результати показують відсутність перевищень за всіма показниками для питної води. Таким чином, якість води яка проходить через «зелену» покрівлю, дозволяє її використовувати не лише для технічних потреб.

Для використання вторинної води як питної необхідно провести дослідження за всіма показниками СанПіН 2.2.4-171-10, а не лише за сімома. Тому в подальшому 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.

### ВИТРАТИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ У ЖИТЛОВОМУ БУДИНКУ

На прикладі 16-поверхового житлового будинку з 85 квартирами в житловому комплексі «Файна-Таун», м. Київ, було проаналізовано дані витрат за лютий-грудень 2021 р. відповідно до показів лічильників холодної води (табл. 2):

- загальнобудинкового;
- на вбудовані приміщення;
- в системі В10 (поливальний водопровід).

Система поливального водопроводу В10 спожила за 11 місяців  $2205 \text{ дм}^3$  води, (середньомісячна витрата становить  $200,5 \text{ дм}^3$ ). Ця вода використана для поливу газонів площею  $S_g = 4459 \text{ м}^2$ . Також з архівів погоди отримано кількість опадів для м. Києва за 2021 р. (рис. 3). Вираховуючи середню кількість опадів за 12 місяців 2021р., маємо середнє значення  $O_c = 8,6 \text{ мм/міс опадів}$ .

Покрівля на сьогодні неозеленена і має розміри  $16,56 \times 29,58 \text{ м}$  та площу  $S_n = 490 \text{ м}^2$ . Розраховуємо теоретичну кількість опадів, яка припала на покрівлю будинку, а саме  $W = O_c \cdot S_n = 4214 \text{ дм}^3$ . Тобто на сьогодні понад  $4,2 \text{ м}^3$  водних ресурсів щомісяця втрачаються даремно.

Отже, порівнюючи витрату водних ресурсів у будівлі з кількістю опадів, маємо, що за рахунок опадів можливо повністю покрити витрати водних ресурсів на полив газонів та очищення тротуарів. збереження водних ресурсів зеленими покрівлями.

**Таблиця 1.** Фізико-хімічні показники проб води  
**Table 1.** Physico-chemical indicators of water samples

Найменування	Колодязь			Нормативні показники для питної води за СанПіН 2.2.4-171-10		
	К2	К2-2	К2-3	водо-провідної	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	$\leq 0,5$	$\leq 2,6$	$\leq 0,5$

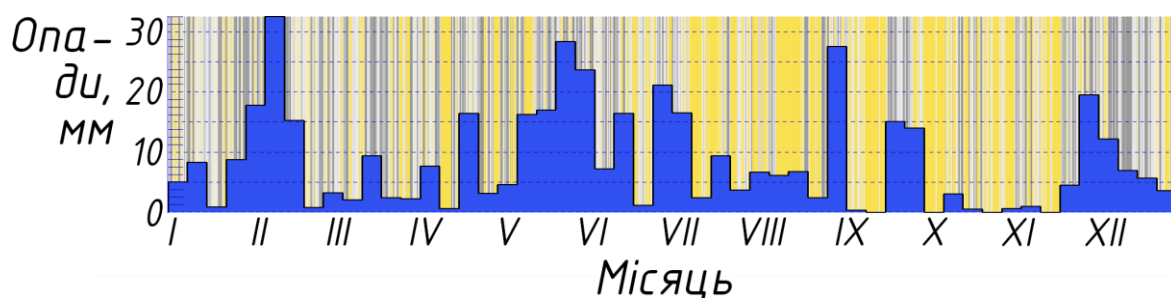
**Таблиця 2.** Витрата холодної води для житлового будинку  
**Table 2.** Consumption of cold water for a residential building

Дата	Споживання води, дм <sup>3</sup>		
	Загальнобудинковий (житло)	Убудовані приміщення	Система В10 (поливальний водопровід)
1 лютого 2021 р.	5724	8232	631
1 березня 2021 р.	3296	0	59
1 квітня 2021 р.	1927	235	173
1 травня 2021 р.	1453	548	124
1 червня 2021 р.	2010	185	204
1 липня 2021 р.	2108	744	152
1 серпня 2021 р.	2354	1023	127
1 вересня 2021 р.	2753	864	142
1 жовтня 2021 р.	2291	647	169
1 листопада 2021 р.	3769	57	219
1 грудня 2021 р.	3528	0	205
Всього	31213	12535	2205
Середньомісячне	2838*	1140	200,5

\* відносно мале споживання води квартирами свідчить про те, що або будинок не до кінця заселений або частина квартир купувалася під здавання, але не була здана. Проте це не впливає на витрати води на вбудовані приміщення та на полив.

Результати досліджень показують можливість і доцільність повторного використання дощової води. Постає питання ефективного збору, накопичення та використання водних ресурсів опадів.

По-перше потрібні мінімальні за вартістю та навантаженням на конструкцію будівлі "зелені" покрівлі, тобто екстенсивні (газон). Прикладом є водозбір з екстенсивної "зеленої" покрівлі на рис. 4.



**Рис. 3.** Кількість опадів у м. Києві  
**Fig. 3.** Precipitation amount in Kyiv

По-друге, слід передбачити накопичення водних ресурсів. Об'єм води, що залишається після проходження покрівлі з озелененням, значно зменшується. Залежно від типу озеленення, об'єм води, що утримується різними шарами і покрівлею в цілому, становить 20...85 % від загальної кількості опадів. Таким чином, залишок води потрібно накопичувати в спеціальні баки, які можливо розташувати в технічних приміщеннях будівлі. Об'єм накопичувальних баків встановлюється залежно від кліматичних факторів, розташування будівлі та наявності «зеленої» покрівлі.

Проектувати систему потрібно таким чином, щоб вода в накопичувальному баку оновлювалася та/або використовувалася для технічних потреб протягом двох тижнів після її збирання. З розрахунків визначаємо, що достатній об'єм накопичувального баку становитиме 150...250 дм<sup>3</sup>.

По-третє, утилізація води з опадів не може бути ефективною без правильного споживання накопиченої води. Шляхи використання її різноманітні, та залежать від технічних потреб будівлі. Можна обмежитися лише поливом прибудинкової території. Споживання води на технічні потреби квартир, офісів тощо вимагає створення окремої будинкової системи технічного водопостачання з автоматичним подаванням до неї водопровідної води в разі вичерпування накопиченої води опадів.

Вартість будівництва системи утилізації води опадів залежить від багатьох факторів

будівництва, технологій, матеріалів тощо. Якщо озеленити покрівлю розглянутої будівлі, маємо такі фінансові витрати:

1. Будівництво неозеленої покрівлі:

- 62041 грн/од – вартість матеріалів;
- 2725 грн/од – вартість робіт;
- 64766 грн/од – загалом;

2. Озеленення покрівлі (система екстенсивної «зеленої» покрівлі, а саме газон) з вітчизняних матеріалів:

- 12693 грн/од – вартість матеріалів;
- 1730 грн/од – вартість робіт;
- 14423 грн/од – загалом

Таким чином, додаткові витрати на створення/будівництво «зеленої» покрівлі становитимуть:

1. 20,46 % до вартості матеріалів;
2. 63,49 % до вартості робіт;
3. 22,27 % до загальної вартості

Якщо розподілити додаткову вартість на 85 квартир, матимемо лише 169 грн. 68 коп. з кожної квартири, що на чотири порядки нижче вартості кожної квартири.

## ВИСНОВКИ

Опади є важливим водним ресурсом. Зелена покрівля здатна забезпечити фільтрацію води та її збирання до баків. Основні фізико-хімічні параметри відповідають показникам для питної води. Отримана вода покриває потреби, як мінімум, на полив. Додаткові фінансові витрати на створення таких покривель не є принциповими порівняно з вартістю квартир.



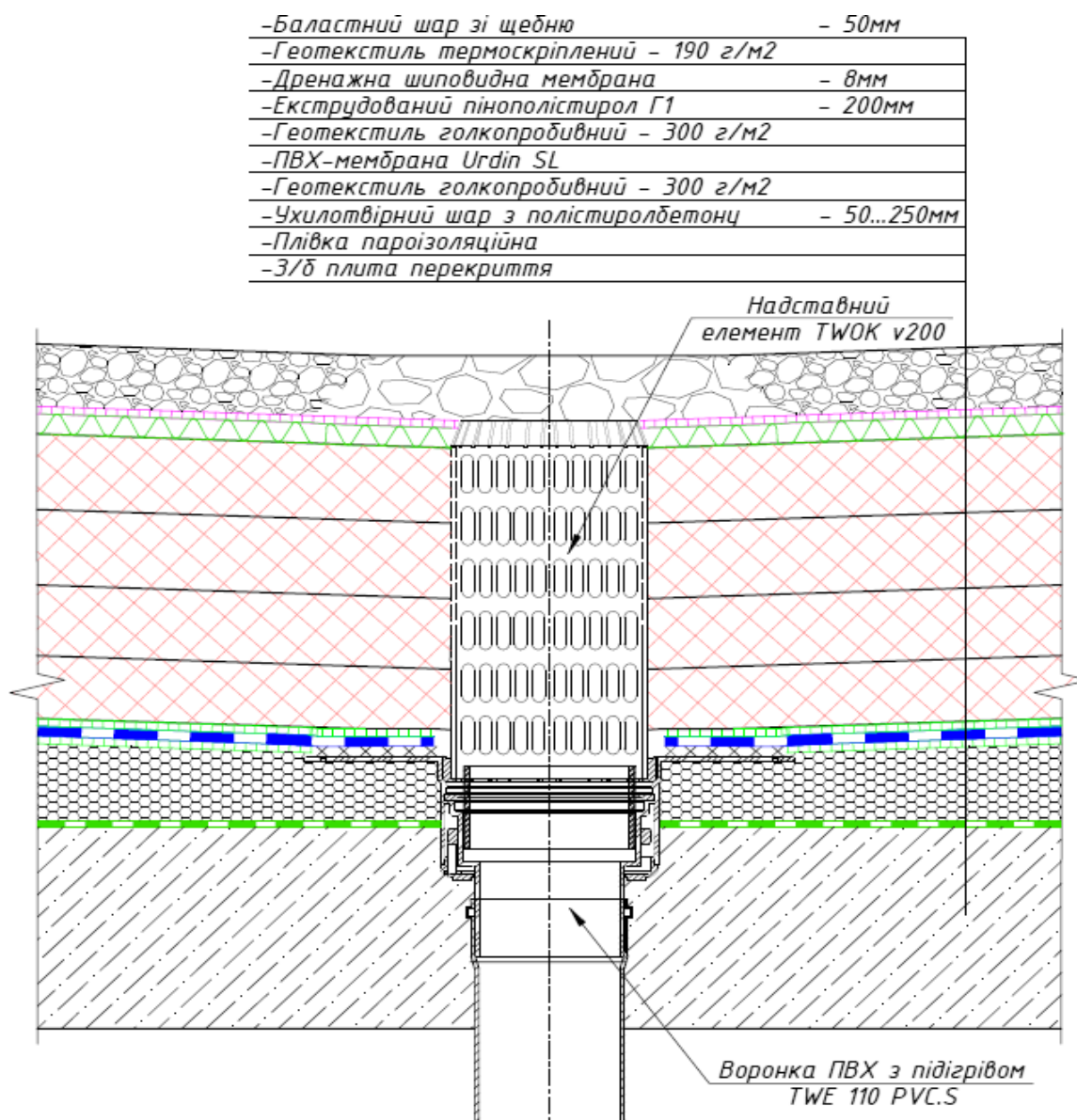


Рис. 4. Приклад будови водозбору з покрівлі

Fig. 4. An example of a water catchment structure from a roof

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Ткаченко Т.** Improvement of Technology for Creation of Inversion Green Roof by Use Domestic Building Materials // Budownictwo o zoptymalizowanym Potencjale energetycznym. Construction of optimized energy potential. Voi.8, 1 (19). Poland, 2019. P.77-84. <https://doi.org/10.17512/bozpe.2019.1.08>
2. **Пінь А. М.** Адаптація «зелених» технологій у концепцію розумного міста // Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України: Зб. наук. Праць. 2018. Вип. 5(133). С. 76-82. URL: [http://ird.gov.ua/sep/sep20185\(133\)/sep20185\(133\)\\_076\\_PinAM.pdf](http://ird.gov.ua/sep/sep20185(133)/sep20185(133)_076_PinAM.pdf)
3. **Filonenko O., Avramenko Y., Kidenko V.** «Green roofs» – historical experience and modern requirements // Збірник наукових праць: Галузеве машинобудування, будівництво. 2020. № 2(55). С. 109-114 URL: <http://journals.nupp.edu.ua/znp/article/view/2352>
4. **Gioannini R., Al-Ajlouni M., Kile R., VanLeeuwen D., St. Hilaire R.** Plant Communities Suitable for Green Roofs in Arid Regions // Sustainability. 2018. Vol. 10. Iss. 6. ArticleID: 1755. <https://doi.org/10.3390/su10061755>
5. **Rey C. V. et al.** Green Roof Design with Engineered Extensive Substrates and Native Species to Evaluate Stormwater Runoff and Plant Establishment in a Neotropical Mountain //

- Sustainability. 2020. Vol. 12. Iss. 16. Article ID 6534. <https://doi.org/10.3390/su12166534>
6. **Jiajun Zeng, Guoru Huang, Haiwan Luo, Yeping Mai, Haichun Wu.** First flush of non-point source pollution and hydrological effects of LID in a Guangzhou community // Scientific Reports. 2019. Iss. 9. Article No: 13865. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50467-8>
  7. **Haoming Chen, Jinyi Ma, Xinjun Wang, Pingping Xu, Shuo Zheng, Yanwen Zhao.** Effects of Biochar and Sludge on Carbon Storage of Urban Green Roofs // Forests. 2018. Vol. 9. Iss. 7. Article ID 413. <https://doi.org/10.3390/f9070413>
  8. **Zluwa I., Pitha U.** The Combination of Building Greenery and Photovoltaic Energy Production – A Discussion of Challenges and Opportunities in Design // Sustainability. 2021. Vol. 13. Iss. 3. Article ID 1537. <https://doi.org/10.3390/su13031537>
  9. **Yaping Chen et al.** Numerical Simulation of Local Climate Zone Cooling Achieved through Modification of Trees, Albedo and Green Roofs – A Case Study of Changsha, China. // Sustainability. 2020. Vol. 12. Iss. 7. Article ID 2752. <https://doi.org/10.3390/su12072752>
  10. **Gill A. S., Purnell K., Palmer M. I., Stein J., McGuire K. L.** Microbial Composition and Functional Diversity Differ Across Urban Green Infrastructure Types // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00912>
  11. **Bandehali B., Miri T., Onyeaka H., Kumar P.** Current State of Indoor Air Phytoremediation Using Potted Plants and Green Walls // Atmosphere. 2021. Vol. 12. Iss. 4. Article ID 473. <https://doi.org/10.3390/atmos12040473>
  12. **Tkachenko T., Mileikovskiy V.** Geometric basis of the use of “green constructions” for sun protection of glazing // ICGG 2018 - Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics. Milan, Italy, August 3-7, 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Iss. 809. pp. 1096-1107.
  13. **Tkachenko, T., Mileikovskiy, V. and Ujma, A.** "Field Study of Air Quality Improvement by a “Green Roof” in Kyiv" System Safety: Human - Technical Facility - Environment, vol.1, no.1, 2019, pp.419-424. <https://doi.org/10.2478/czoto-2019-0054>
  14. **Alissandra Pessoa Almeida, Tiago Liberalesso, Cristina Matos Silva, Vitor Sousa.** Dynamic modelling of rainwater harvesting with green roofs in university buildings // Journal of Cleaner Production. 2021. Volume 312. 127655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127655>
  15. **Cipolla S.S., Altobelli M., Maglionico M.** Decentralized Water Management: Rainwater Harvesting, Greywater Reuse and Green Roofs within the GST4Water Project // Proceedings. 2018. Vol. 2. P. 673-680. URL: <https://doi.org/10.3390/proceedings2110673>
  16. **Ming Chian Yew, Song Wei Wong, Ming Kun Yew and Lip Huat Saw.** Rainwater Harvesting System Integrated With Sensors for Attic Temperature Reduction // Frontiers in Built Environment. 2021. Vol. 7. ArticleID: 647594. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.647594>
  17. **Yixin Zhang, Weihan Zhao, Xue Chen, Changyun Jun, Jianli Hao, Xiaonan Tang, Jun Zhai.** Assessment on the Effectiveness of Urban Stormwater Management // Water. 2021. Vol. 13. Iss. 1. Article ID 4. <https://doi.org/10.3390/w13010004>
  18. Sod roof [Electronic Resource]. Electronic text data. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sod\\_roof](https://en.wikipedia.org/wiki/Sod_roof) Ver. 13 December 2022. Caption from the screen.
  19. **Berg A.** Norske tømmerhus frå mellomalderen. Oslo: 1989, Volume I, pp. 70–73.
  20. **Abass F., Ismail L.H., Wahab I.A., Elgadi A.A.** A Review of Green Roof: Definition, History, Evolution and Functions // The 2nd Global Congress on Construction, Material and Structural Engineering. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 713. 012048. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012048>
  21. **Khan A., Park Y., Park J., Kim R.** Assessment of Rainwater Harvesting Facilities Tank Size Based on a Daily Water Balance Model: The Case of Korea // Sustainability. 2022. Vol. 14. Article ID 15556. <https://doi.org/10.3390/su142315556>
  22. **Shetty N., Wang M., Elliott R., Culligan P.** Examining How a Smart Rainwater Harvesting System Connected to a Green Roof Can Improve Urban Stormwater Management // Water. 2022. Vol. 14. Article ID 2216. <https://doi.org/10.3390/w14142216>
  23. **Pirouz B., Palermo S. A., Turco M.** Improving the Efficiency of Green Roofs Using Atmospheric Water Harvesting Systems (an Innovative Design) // Water. 2021. Vol. 13. Article ID 546. <https://doi.org/10.3390/w13040546>
  24. **Bus A., Szelałowska A.** Green Water from Green Roofs—The Ecological and Economic Effects // Sustainability. 2021. Vol. 13. Article ID 2403. <https://doi.org/10.3390/su13042403>
  25. **Charalambous K., Bruggeman A., Eliades M., Camera C., Vassiliou L.** Stormwater

Retention and Reuse at the Residential Plot Level—Green Roof Experiment and Water Balance Computations for Long-Term Use in Cyprus // *Water*. 2019. Vol. 11. No. 5. Article ID 1055. <https://doi.org/10.3390/w11051055>

26. **Santoni R.** Design of rainwater harvesting district at Kebon Melati Tanah Abang // *Arteks : jurnal teknik arsitektur*. 2017. Vol. 2, No. 1. P. 77-88. <https://doi.org/10.30822/arteks.v2i1.42>

#### REFERENCES

1. **Tkachenko, T. (2019)** Improvement of Technology for Creation of Inversion Green Roof by Use Domestic Building Materials. *Budownictwo o zoptymalizowanym Potencjale energetycznym. Construction of optimized energy potential*, 8(1). 77-84. <https://doi.org/10.17512/bozpe.2019.1.08>
2. **Pin, A. (2018)** Incorporation of «green» technologies into the «smart» city concept. *Socio-economic problems of the modern period of Ukraine: Collection. of science Working*, 5(133). 76-82. Retrieved from [http://ird.gov.ua/sep/sep20185\(133\)/sep20185\(133\)\\_076\\_PinAM.pdf](http://ird.gov.ua/sep/sep20185(133)/sep20185(133)_076_PinAM.pdf) [in Ukrainian]
3. **Filonenko, O., Avramenko, Y., & Kidenko, V. (2020)** «Green roofs» – historical experience and modern requirements. *Collection of scientific works: Branch machine-building, construction*, 2(55). 109-114 Retrieved from <http://journals.nupp.edu.ua/znp/article/view/2352>
4. **Gioannini, R., Al-Ajlouni, M., Kile, R., VanLeeuwen, D., & St. Hilaire, R. (2018)** Plant Communities Suitable for Green Roofs in Arid Regions. *Sustainability*, 10(6). 1755. <https://doi.org/10.3390/su10061755>
5. **Rey, C. V. et al. (2020)** Green Roof Design with Engineered Extensive Substrates and Native Species to Evaluate Stormwater Runoff and Plant Establishment in a Neotropical Mountain. *Sustainability*, 12(16). 6534. <https://doi.org/10.3390/su12166534>
6. **Zeng, J., Huang, G., Luo, H., Mai, Y., & Wu, H. (2019)** First flush of non-point source pollution and hydrological effects of LID in a Guangzhou community. *Scientific Reports*, 9(1). 13865. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50467-8>
7. **Chen, H., Ma, J., Wang, X., Xu, P., Zheng, S., & Zhao, Ya. (2018)** Effects of Biochar and Sludge on Carbon Storage of Urban Green Roofs. *Forests*, 9(7). 413. <https://doi.org/10.3390/f9070413>
8. **Zluwa, I., & Pitha, U. (2021)** The Combination of Building Greenery and Photovoltaic Energy Production – A Discussion of

Challenges and Opportunities in Design. *Sustainability*, 13(3). 1537.

<https://doi.org/10.3390/su13031537>

9. **Chen, Y., Zheng, B., & Hu, Yi. (2020)** Numerical Simulation of Local Climate Zone Cooling Achieved through Modification of Trees, Albedo and Green Roofs – A Case Study of Changsha, China. *Sustainability*, 12(7). 2752. <https://doi.org/10.3390/su12072752>

10. **Gill, A. S., Purnell, K., Palmer, M. I., Stein, J., & McGuire, K. L. (2020)** Microbial Composition and Functional Diversity Differ Across Urban Green Infrastructure Types. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00912>

11. **Bandehali, B., Miri, T., Onyeaka, H., & Kumar, P. (2021)** Current State of Indoor Air Phytoremediation Using Potted Plants and Green Walls. *Atmosphere*, 12(4). 473. <https://doi.org/10.3390/atmos12040473>

12. **Tkachenko, T., & Mileikovskiy, V. (2019)** Geometric basis of the use of “green constructions” for sun protection of glazing. *ICGG 2018 - Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics*. Milan, Italy, August 3-7, 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing. Iss. 809. pp. 1096-1107.

13. **Tkachenko, T., Mileikovskiy, V. & Ujma, A. (2019)** Field Study of Air Quality Improvement by a “Green Roof” in Kyiv. *System Safety: Human - Technical Facility - Environment*, 1(1). 419-424. <https://doi.org/10.2478/czoto-2019-0054>

14. **Almeida, A. P., Liberalesso, T., Silva, C. M., & Sousa, V. (2021)** Dynamic modelling of rainwater harvesting with green roofs in university buildings. *Journal of Cleaner Production*, 312. 127655.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127655>

15. **Cipolla, S. S., Altobelli, M., & Maglionico, M. (2018)** Decentralized Water Management: Rainwater Harvesting, Greywater Reuse and Green Roofs within the GST4Water Project. *Proceedings*. 2. 673-680. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110673>

16. **Yew, M. C., Wong, S. W., Yew, M. K., & Saw, L. H. (2021)** Rainwater Harvesting System Integrated With Sensors for Attic Temperature Reduction. *Frontiers in Built Environment*. 7. 647594. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.647594>

17. **Zhang, Y., Zhao, W., Chen, X., Jun, C., Hao, J., Tang, X., & Zhai, J. (2021)** Assessment on the Effectiveness of Urban Stormwater Management. *Water*, 13(1). 4. <https://doi.org/10.3390/w13010004>



18. Sod roof [Electronic Resource]. Electronic text data. Ver. 13 December 2022. Caption from the screen. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Sod\\_roof](https://en.wikipedia.org/wiki/Sod_roof)
19. **Berg, A. (1989).** Norske tømmerhus fra mellomalderen. *Oslo, I.* 70–73.
20. **Abass, F., Ismail, L. H., Wahab, I. A., & Elgadi, A. A. (2020)** A Review of Green Roof: Definition, History, Evolution and Functions. *The 2nd Global Congress on Construction, Material and Structural Engineering. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 713. 012048. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012048>
21. **Khan, A., Park, Y., Park, J., & Kim, R. (2022)** Assessment of Rainwater Harvesting Facilities Tank Size Based on a Daily Water Balance Model: The Case of Korea. *Sustainability*, 14. 15556. <https://doi.org/10.3390/su142315556>
22. **Shetty, N., Wang, M., Elliott, R., & Culligan, P. (2022)** Examining How a Smart Rainwater Harvesting System Connected to a Green Roof Can Improve Urban Stormwater Management. *Water*, 14. 2216. <https://doi.org/10.3390/w14142216>
23. **Pirouz, B., Palermo, S. A., & Turco, M. (2021)** Improving the Efficiency of Green Roofs Using Atmospheric Water Harvesting Systems (an Innovative Design). *Water*, 13. 546. <https://doi.org/10.3390/w13040546>
24. **Bus, A., & Szelałowska, A. (2021)** Green Water from Green Roofs—The Ecological and Economic Effects. *Sustainability*, 13. 2403. <https://doi.org/10.3390/su13042403>
25. **Charalambous, K., Bruggeman, A., Eliades, M., Camera, C., & Vassiliou, L. (2019)** Stormwater Retention and Reuse at the Residential Plot Level—Green Roof Experiment and Water Balance Computations for Long-Term Use in Cyprus. *Water*, 11(5). 1055. <https://doi.org/10.3390/w11051055>
26. **Santoni, R. (2017)** Design of rainwater harvesting district at Kebon Melati Tanah Abang. *Arteks: jurnal teknik arsitektur*, 2(1). 77-88. <https://doi.org/10.30822/arteks.v2i1.42>

## Storage, quality and use of rainwater after a "green" roof

*Roman Hlushchenko, Tetiana Tkachenko*

**Abstract.** The issue of reuse of natural resources occupies an important place in resource conservation, environmental friendliness and reduction of the man-made load of construction around the world. The use of water resources is of particular importance. They are a strategic, vitally important natural resource, the national wealth of every country, one of the natural foundations of its economic development. In addition to reasonable consumption, it is necessary to promote the preservation, restoration and reuse of water resources. One of the many methods of effective and at the same time the most natural management of water resources is "green" constructions. These are biotechnological means that combine building structures and living plants. This paper examines the implementation and creation of "green" roofs for the collection, accumulation and re-use of rainwater. The chemical composition of water after passing through the "green" roof, as well as ordinary rainwater from the roof of the building of the residential complex "Respublika" was analyzed. Water sampling was carried out in December 2021 during rainfall. It is shown that the concentration of impurities in wastewater from "green roofs" does not exceed the permissible values for drinking water. In addition, financial costs for the construction of conventional and "green" roofs were presented. Additional costs for the creation of a "green" roof will be 20.89% of the total cost of materials and 63.49% of the total cost of works for the construction of a stationary roof. Means for reuse of rainwater on "green" roofs are considered. It is shown that thanks to the retention of water by the layers of the "green" roof with an area of 490 m<sup>2</sup>, it is enough to provide a tank with a volume of 150...250 dm<sup>3</sup>. Data on the volume of used water for technical needs (irrigation) from Faina-Town residential complex in Kyiv are provided. It is shown that the accumulated rainwater is sufficient to meet the needs for watering the adjacent territory.

**Key words:** water resources, secondary use of water, rainwater, "green" roof, chemical analysis.

*Стаття надійшла до редакції 14.03.2023*