

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ УЛАШТУВАННЯ ЗЕЛЕНИХ ПОКРІВЕЛЬ У МІСЬКИХ БУДІВЛЯХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено результати дослідження ефективності впровадження зелених покрівель як інноваційного рішення для підвищення енергоефективності та екологічної стійкості міських будівель. Проведено аналіз типології систем (екстенсивні, інтенсивні, напівінтенсивні) та конструктивно-технологічних рішень. Встановлено, що зелені покрівлі знижують температуру зовнішньої поверхні даху влітку на 25–35 °C, скорочують річні тепловтрати через покриття на 22–28 %, а загальне енергоспоживання будівлі – до 40 %. Водноутримувальна здатність систем досягає 70–90 %, що зменшує навантаження на міські дренажні мережі. Запропоновані конструкції відповідають вимогам ДБН В.2.6-31:2021 та ДСТУ 9190:2022 щодо енергоефективності.

Ключові слова: зелена покрівля, енергоефективність, екологічна стійкість, водоутримання, термозахист, сталий розвиток, міське середовище.

Abstracts

The paper presents the results of a study on the effectiveness of implementing green roofs as an innovative solution for improving the energy efficiency and environmental sustainability of urban buildings. The typology of systems (extensive, intensive, and semi-intensive) and their structural and technological solutions have been analyzed. It has been established that green roofs reduce the outer surface temperature of the roof in summer by 25–35 °C, decrease annual heat losses through the roof by 22–28 %, and lower the building's total energy consumption by up to 40 %. The water-retention capacity of such systems reaches 70–90 %, which significantly reduces the load on urban drainage networks. The proposed designs comply with the requirements of DBN V.2.6-31:2021 and DSTU 9190:2022 regarding building energy efficiency.

Key words: green roof, energy efficiency, environmental sustainability, water retention, thermal protection, sustainable development, urban environment.

Вступ

Проблематика енергоефективності та екологічної збалансованості міського середовища сьогодні є однією з ключових у сфері сучасного будівництва. Згідно з даними Європейської комісії, будівлі споживають близько 40 % усієї енергії в міських агломераціях, а понад 25 % викидів CO₂ припадає саме на житловий і громадський фонд [1]. В Україні ці показники ще вищі, що обумовлює необхідність упровадження новітніх енергоефективних технологій, зокрема тих, які одночасно сприяють зменшенню негативного впливу на довкілля.

Одним із найбільш ефективних рішень у цьому напрямі є зелені покрівлі, які поєднують у собі функції теплозахисту, водоутримання, очищення повітря та покращення міського мікроклімату. В умовах щільної забудови вони компенсують дефіцит зелених насаджень, підвищують естетичну якість архітектурного середовища та слугують складовою сталого розвитку міста. У європейських містах частка будівель із зеленими дахами перевищує 20 %, тоді як в Україні цей показник поки що не перевищує 2–3 % [1-3].

Крім енергозбереження, важливою функцією зелених покрівель є екологічна регенерація урбанізованих територій. За рахунок біотичних процесів зелені покрівлі сприяють підвищенню вологості повітря та зменшують ефект «міських теплових островів» [4-6].

Окрім значення має здатність зелених покрівель затримувати та фільтрувати атмосферні опади. Це зменшує навантаження на міські зливові системи та сприяє зниженню ризику підтоплення під час інтенсивних опадів [7]. Сучасні системи дренажу й автоматичного зрошення дозволяють ефективно підтримувати водний баланс субстрату, що підвищує довговічність і стабільність функціонування покрівлі.

Метою дослідження є обґрунтування та визначення ефективних конструктивно-технологічних рішень улаштування зелених покрівель, спрямованих на підвищення енергоефективності, екологічної стійкості та комфортності міських будівель.

Результати дослідження

Зелені покрівлі, як елемент енергоефективної архітектури, формують новий підхід до використання горизонтальних поверхонь будівель. Залежно від товщини субстратного шару, складу рослинності та експлуатаційного призначення виділяють три основні типи систем зелених покрівель – екстенсивні, напівінтенсивні та інтенсивні [1, 8-12].

Екстенсивні покрівлі мають мінімальну товщину субстрату (5–15 см) і призначені переважно для легких конструкцій перекриттів у житлових та громадських будівлях. Вони формують природну рослинність – седуми, мохи, злакові культури, що не потребують постійного поливу та догляду. Мають невелику масу (до 150–200 кг/м²), високу стійкість до кліматичних коливань і ефективні у зменшенні нагріву даху влітку [9, 12]. Основна їхня перевага – низькі експлуатаційні витрати та довговічність понад 30 років.

Інтенсивні системи мають значно більшу товщину субстрату (від 20 до 40 см і більше), що дає змогу створювати повноцінні зелені зони з газонами, чагарниками й деревами. Вони перетворюють дах на рекреаційний простір, підвищуючи соціальну й архітектурну цінність будівлі. Однак їхнє використання можливе лише на покриттях із підвищеною несучою здатністю, з обов'язковим улаштуванням дренажних систем, захисту від коренів та гідроізоляції з високою еластичністю. Енергетичний ефект таких систем вищий – зниження втрат тепла до 25 %, а термін експлуатації – до 50 років [8, 9].

Напівінтенсивні покрівлі поєднують властивості обох типів і вважаються найоптимальнішими для реконструкцій та громадських споруд середньої поверховості.

Конструкція зеленої покрівлі включає багатошарову систему, що забезпечує не лише рослинне покриття, а і дренаж та фільтрацію води і належне водоутримання, гідроізоляцію, теплоізоляцію, вентиляцію та механічну стабільність (рис. 1). Така структура не лише захищає будівельні конструкції від коливань температури й ультрафіолетового випромінювання, а й значно зменшує витрати енергії на опалення та кондиціювання приміщень.

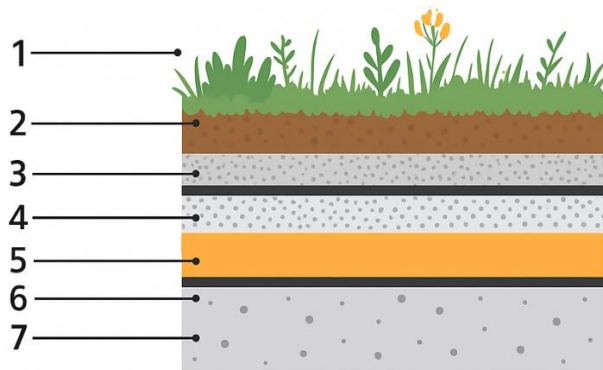


Рис. 1 – Типова конструкція зеленої покрівлі: 1 – захисне покриття (рослинність); 2 – родючий субстрат (5–30 см); 3 – фільтрувальний шар; 4 – дренажний шар; 5 – гідроізоляція; 6 – теплоізоляція (ЕППС або PIR-плити); 7 – пароізоляція; 8 – залізобетонна плита покриття

Для підвищення ефективності та зниження ваги системи застосовуються такі технічні рішення [12]:

- Субстрат і дренаж. Використовуються легкі мінеральні матеріали – перліт, вермікуліт, керамзит, піноскло. Вони поєднують високу водоемність (до 60–70 %) з низькою щільністю (300–500 кг/м³), що зменшує навантаження на плиту перекриття.

- Гідроізоляція. Виконується з ПВХ, EPDM або ТПО-мембран, армованих поліестеровим волокном. Зовнішня поверхня покривається коренезахисним шаром на основі поліетилену високої щільності чи поліуретанової мастики.

- Теплоізоляція. Застосовуються екструдований пінополістирол (XPS) або поліізоціануратні плити (PIR) з низькою теплопровідністю ($\lambda = 0,028\text{--}0,032$ Вт/м·К). У конструкціях інверсійних дахів утеплювач розміщується над гідроізоляцією, що збільшує її довговічність.

- Дренажно-фільтраційний шар. Виконується з профільованих полімерних мембран або гравійно-піщаних прошарків для швидкого відведення надлишкової вологи та вентиляцію кореневої зони.

Завдяки цим рішенням вдається зменшити загальну масу покрівлі на 20–30 % порівняно з традиційними шарами, при цьому підвищити її теплотехнічні та експлуатаційні показники.

Дані таблиці 1 показують, що зі збільшенням товщини ґрунтового шару підвищується водоутримання та опір теплопередачі покрівлі, але зростає вага системи, що вимагає перевірки несучої здатності покриття.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика конструктивних типів зелених покрівель

Показник	Звичайна покрівля	Екстенсивна зелена	Інтенсивна зелена
Товщина субстрату, см	–	5–15	20–40
Вага системи, кг/м ²	70–120	100–200	400–1000
Водоутримання, %	5–10	60–75	80–90
Опір теплопередачі, м ² ·°C/Вт	2,5–3,0	4,3–4,6	4,8–5,1
Температура поверхні влітку, °C	65–75	35–40	25–30
Економія енергії, %	–	15–20	20–25
Тривалість експлуатації, років	15–20	30–40	40–50

Експериментальні та аналітичні дані свідчать, що улаштування зеленої покрівлі знижує температуру зовнішньої поверхні даху влітку з +70 °C до +35–40 °C, а взимку – підвищує температуру нижньої поверхні утеплювача на 3–5 °C порівняно з традиційним покриттям [3, 13, 14]. Розрахункові втрати теплоти через покриття зменшуються на 22–28 %, а витрати електроенергії на кондиціювання – на 15–20 %. Опір теплопередачі покрівельного пирога при використанні шару теплоізоляції з екструзійного пінополістиролу (товщиною 100 мм) і субстрату товщиною 15–25 см становить 4,6–5,0 м²·°C/Вт (табл. 2), що відповідає вимогам ДСТУ 9190:2022 та ДБН В.2.6-31:2021 для енергоефективних будівель [15, 16]. Рис. 2 демонструє динаміку енергоспоживання будівель протягом року: найвиразніший ефект енергозбереження спостерігається в літній період, коли знижується потреба у кондиціюванні.

Таблиця 2 – Теплотехнічні показники конструкції зеленої покрівлі

Шар конструкції	Матеріал	Товщина, мм	Температура на межі, °C	Тепловий опір шару, м ² ·°C/Вт
Рослинність	Седуми, трави	50–100	+5 → +10	0,10
Субстрат	Торфо-перлітна суміш	100–250	+10 → +15	0,35
Дренаж	Полімерні модулі	25–40	+15 → +17	0,05
Гідроізоляція	ТРО / ПВХ мембрана	3–5	+17 → +18	0,02
Теплоізоляція	XPS / PIR плити	100–150	+18 → +21	1,50
Плита перекриття	З/б плита	160	+21 → +22	0,30

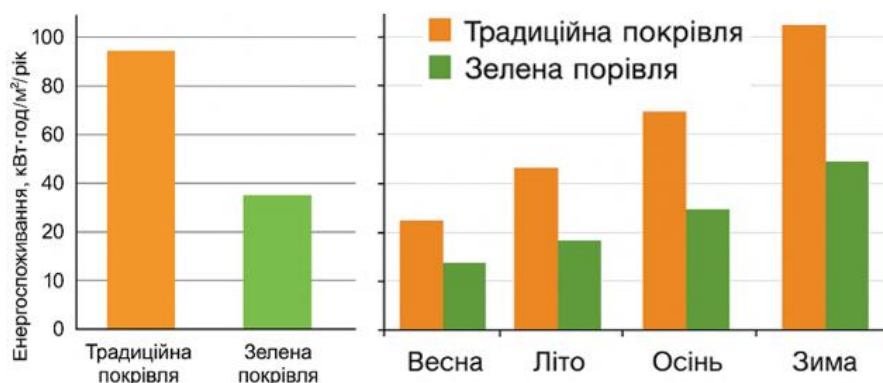


Рис. 2 – Динаміка енергоспоживання будівель із традиційною та зеленою покрівлею

Зелена покрівля виконує не лише функцію теплозахисту, а й значно впливає на екологічні показники будівлі (табл. 3). Розрахунок екологічних показників показав, що 1 м² зеленої покрівлі здатен поглинати до 5 кг CO₂ на рік і виробляти близько 3 кг кисню. За рахунок фотосинтетичної активності рослин покращується якість повітря, а пилопоглинальна здатність зростає у 4–5 разів порівняно з традиційною поверхнею даху [14, 15].

Таблиця 3 – Екологічні та експлуатаційні ефекти впровадження зелених покрівель

Показник	Одиниця вимірювання	Значення для зеленої покрівлі	Покращення порівняно із традиційною, %
Зниження енергоспоживання	кВт·год/м ² ·рік	120	40–45
Скорочення викидів CO ₂	кг/м ² ·рік	47	25–30
Зменшення температури поверхні даху	°C	30–35	55–60
Поглинання CO ₂ рослинністю	кг/м ² ·рік	5	–
Тривалість експлуатації покрівлі	років	40–50	100–150

Висновки

Улаштування зелених покрівель забезпечує комплексне енергозбереження в міських будівлях завдяки поєднанню теплоізоляційних, водорегулюючих і кліматорегулюючих властивостей.

Найвищу ефективність продемонстрували інтенсивні системи, які зменшують енергоспоживання до 120 кВт·год/м²·рік і скорочують викиди CO₂ на 30–35 %. Використання легких мінеральних субстратів, PIR-утеплювачів і сучасних мембранних матеріалів підвищує довговічність конструкції до 50 років і зменшує її вагу на 20–30 % порівняно з традиційними системами.

Інноваційні технології, такі як модульні секції, автоматизоване зрошення й «biosolar roof», формують нове покоління екологічно активних дахів, що поєднують енергоефективність, естетику й сталий розвиток.

Впровадження зелених покрівель у практику проектування та реконструкції міських будівель є стратегічним напрямом досягнення цілей енергетичної незалежності та кліматичної адаптації України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мандрика А. С. Енергоефективні технології : навчальний посібник. Сумський державний університет, 2021. 330 с.
2. Getter, K. L., Rowe, D. B. The role of extensive green roofs in sustainable development. HortScience. 2006. Vol. 41(5). P. 1276–1285.
3. Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Arcuri, N. Thermal inertia assessment of vegetated roofs for building energy performance improvement. Energies. 2023. Vol. 18(12), 3215. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18123215>
4. Gagliano A., Detommaso M., Nocera F., Patania F., Aneli S. The Retrofit of Existing Buildings Through the Exploitation of the Green Roofs – A Simulation Study. Energy Procedia. 2014. Vol. 62. P. 52–61. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.366
5. Bianchini, F., Hewage, K. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. Building and Environment. 2012. Vol. 48. P. 57–65.
6. Vijayaraghavan, K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 57. P. 740–752.
7. Mentens, J., Raes, D., Hermy, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century. Landscape and Urban Planning. 2006. Vol. 77. P. 217–226.
8. Savi, F., Masullo, M., Chieffo, N., Pisello, A. L. Life cycle assessment of green roofs for sustainable urban buildings: comparative approach. Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 46. Article 103761.
9. Зелена покрівля: екстенсивне та інтенсивне озеленення. URL: <https://surli.cc/zxizid>
10. Системи зеленої покрівлі. URL: <https://gidex.com.ua/budivnytstvo-zelenykh-dakhiv/>
11. Гавдера С., Андріїв Х. Зелена покрівля. Мат-ли VII Міжнародної студентської наук.-техн. конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2024. С. 240-241. URL: <https://surl.li/ceupgm>
12. Організація та експлуатація зеленої покрівлі. URL: <https://surl.li/wfquax>
13. Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E. A review of energy aspects of green roofs. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 23. P. 155–168.
14. Wong, N. H., Cheong, D. K. W., Yan, H. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. Energy and Buildings. 2003. Vol. 35(4). P. 353–364.
15. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний з 2022-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2021. 108 с.
16. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний з 2023-03-01]. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 142 с.

Ковальчук Марія Олександрівна – студентка групи БМ-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Кучеренко Лілія Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kucherenko@vntu.edu.ua

Бондар Альона Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua

Kovalchuk Maria – student of group BM-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Kucherenko Liliya – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kucherenko@vntu.edu.ua

Bondar Alena – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua