

УДК 721.01: 692.42/.47: 58.01/.07

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6>

**Оксана РИБАК**

аспірант, асистент кафедри екології та природоохоронних технологій Державного університету «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005

ORCID: 0000-0002-6475-4587

**Ірина ПАЦЕВА**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій Державного університету «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005

ORCID: 0000-0002-6572-681X

**Бібліографічний опис статті:** Рибак О., Пацева І. (2023). Зелені дахи як елемент децентралізованого управління дощовою водою. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 40–46, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6>

## ЗЕЛЕНІ ДАХИ ЯК ЕЛЕМЕНТ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ДОЩОВОЮ ВОДОЮ

Потепління у містах і формування міських островів тепла є проблемами, які набувають все більшого значення. Постійне скорочення рослинності в міських районах, посилення екстремальних погодних умов і тенденція глобального потепління створюють серйозні проблеми для майбутніх міських районів. Екстенсивні зелені дахи вносять значний внесок у зменшення та затримку сильного дощового стоку, зв'язують пил, покращують якість повітря, зменшують шумове забруднення, створюють додаткові відкриті простори та охолоджують будівлі та міський простір через випаровування. Потепління у містах значною мірою пов'язане із втратою рослинного покриву. Висновок, що використання дощової води, зокрема, має сенс як внесок у міське с дощовою водою. Міське водне господарство має велике економічне значення, яке суттєво впливає та формує сучасне суспільство. Відповідальність за забезпечення достатньої кількості питної води гігієнічною ідеальною якістю в довгостроковій перспективі лежить на муніципальному водному господарстві. Очищення стічних вод і їх повторне введення в навколишнє середовище є частиною сфери відповідальності у контексті сталого розвитку міст та подальшої євроінтеграції. Адже зелені дахи, це шлях до підвищення загальної економічної та екологічної ефективності, на ряду з вищевказаними перевагами. Відчуття безпеки через захист від повеней у населених пунктах та інфраструктурі є гарним прикладом цього. Важливість озеленення дахів як важливого компонента адаптованого до клімату міського планування також на вустах серед європейських архітекторів, екологів, ландшафтних дизайнерів, політиків. Потрібно запитати себе, чому, незважаючи на це, нічого не відбувається в цьому напрямку в Україні. Бо нам не вистачає «законодавчих рішень в зеленій індустрії», бо не має нормативних вказівок для сфери «озеленення даху, фасаду та внутрішніх приміщень».

**Ключові слова:** екстенсивний зелений дах, інтенсивний зелений дах, ретенційний дах, одношарова конструкція, багатошарова конструкція.

**Оксана РИБАК**

PhD student (Ecology) Assistant Professor of the Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0002-6475-4587

**Ірина ПАЦЕВА**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0002-6572-681X

**To cite this article:** Rybak O., Patseva I. (2023). Zeleni dakhly yak element detsentralizovanoho upravlinnia doshchovoiu vodoiu [Green roofs as an element of decentralized rainwater management]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 40–46, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6>

## GREEN ROOFS AS AN ELEMENT OF DECENTRALIZED RAINWATER MANAGEMENT

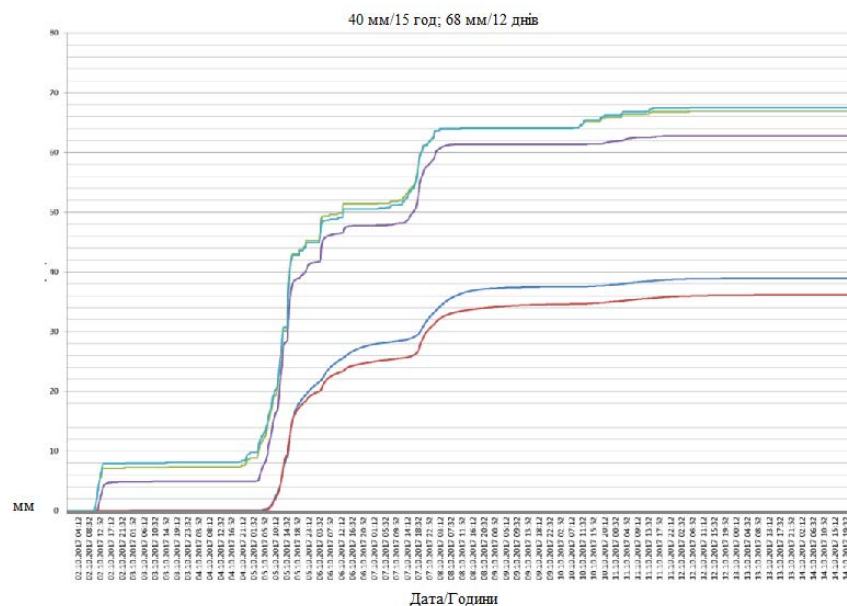
Urban warming and the formation of urban heat islands are issues of increasing importance. The ongoing reduction of vegetation in urban areas, the increase in extreme weather events and the global warming trend pose serious challenges for future urban areas. Large green roofs make a significant contribution to reducing and delaying heavy rainfall runoff, binding dust, improving air quality, reducing noise pollution, creating additional open spaces, and cooling buildings and urban spaces through evaporation. Urban warming is largely due to the loss of vegetation cover. The conclusion is that the use of rainwater in particular makes sense as a contribution to urban rainwater management. Urban water management is of great economic importance, significantly influencing and shaping modern society. It is the responsibility of the municipal water sector to ensure that sufficient drinking water of hygienically ideal quality is available in the long term. Waste water treatment and its reintroduction into the environment is part of the responsibility in the context of sustainable urban development and further European integration. After all, green roofs are a way to increase overall economic and environmental efficiency, along with the above benefits. A sense of security through flood protection in settlements and infrastructure is a good example of this. The importance of roof greening as an essential component of climate-adapted urban planning is also on the lips of European architects, environmentalists, landscape designers, and policy makers. We need to ask ourselves why, despite this, nothing is happening in this direction in Ukraine. Because we lack "legislative solutions in the green industry", because there are no regulatory guidelines for the area of "greening of the roof, facade and interior".

**Key words:** extensive green roof, intensive green roof, retentive roof, single-layer construction, multi-layer construction.

**Актуальність.** Використання зелених дахів має не лише екологічні, але і соціальні, економічні та психологічні переваги. Враховуючи глобальні екологічні виклики та інтенсифіковану урбанізацію, зелені дахи стають не тільки бажаними, але й необхідними елементами міського планування.

**Мета дослідження.** встановити комплекс науково-методологічних та організаційно-методологічних аспектів використання зелених дахів у процесі планування міських систем, зокрема для реалізації раціонального управління дощовою водою.

Екстенсивні зелені дахи (залежно від розмірів на рівні будівлі або залежно від розподілу чи появи на рівні сусідства) впливають на затримку опадів. Ці дахи розвантажують каналізаційну систему, затримуючи опади та затримуючи стік. У районах зі змішаною каналізаційною системою скидання стічних вод у поверхневі води може бути меншим. Численні дослідження присвячені питанню зменшення викидів і затримки дощової води екстенсивними зеленими дахами. Виміряне утримання опадів становить від 50 до 70% у середньому за рік, при інтенсивних зелених дахах утримання може становити майже



**Рис. 1.** Затримка опадів і затримка дренажу 2 екстенсивних зелених конструкцій даху (синя і червона), еталонного гравійного даху (фіолетовий) і накопичених опадів (блакитний і зелений) в Університеті прикладних наук Нойбранденбурга

100%. Затриманий стік і зменшення стоку показані на рис. 1 як приклад.

За останні десять років управління дощовою водою вийшло на новий етап. У історичному минулому застосовувався принцип, згідно з яким дощову воду на поселеннях і в зонах руху слід «скидати якнайшвидше і якомога більше в найближчі водойми» [1, с. 11]. Тим часом стало відомо, що дощова вода, яка накопичується на ділянках водовідведення, має використовуватися раціонально. Конкретно це означає, що дренаж поверхневих вод повинен приблизно відповідати рівню незабудованого стану. Цю ідею стійкості також слід застосувати до компонентів поповнення та випаровування ґрунтових вод. Це означає, що стан майже природного водного балансу на території зберігається, змінюється або відновлюється якомога менше [1, с. 11].

Система дощової каналізації розрахована таким чином, щоб вона могла відводити воду, яка виникає до певного граничного значення. У окремих випадках може статися так, що каналізаційна система не може поглинути воду,

що накопичується, і відбувається затоплення. Частота таких подій визначається за допомогою статистичних розрахунків. Це необхідно, тому що якби каналізаційна система була сконструйована таким чином, щоб витримувати навіть найвищі навантаження, вона була б безцінна, з одного боку, а з іншого більшу частину часу і не зливається належним чином через недостатній потік води.

Зараз майже не будують нових каналізаційних колекторів. Нові системи потрібні лише в дуже обмеженій мірі в нових областях розробки. Роботи з відновлення, в яких пов'язані розрахунки та перевірки гідравлічної провідності та допустимого часу повернення, представляють набагато більший проєкт [1, с. 15].

Сучасний рівень техніки дозволяє локально управляти стоком дощової води, не змішуючи її з брудною водою таким чином, що значна частина надходить у ґрунт і, таким чином, у підземні води. Це відбувається через зберігання, просочування, випаровування та обмежений дренаж у структурах системи дощової води [1, с. 34].

У літературі описується про широкий діапазон значень збереження, залежно від сезону, посадки та інтенсивності опадів, від 10% у гіршому випадку до майже 100% у найкращому випадку [2]. Зелені дахи можуть виконувати функції утримання в усіх кліматичних регіонах світу [3].

Децентралізоване управління дощовою водою пропонує кілька технічних установок і заходів для досягнення цілей і вимог:

- поверхнева інфільтрація;
- інфільтрація маховика;
- інфільтраційний басейн;
- системи обмеження, такі як ретенційний басейн, ретенційна канава;
- змінна вологість;
- зелені дахи;
- підземні системи інфільтрації, такі як наприклад:
  - інфільтраційна шахта;
  - інфільтраційна траншея;
  - інфільтраційна труба;
  - цистерна;
  - канал утримання;
  - накопичувальний шар;
  - різні комбіновані системи.

Щоб зрозуміти переваги зелених дахів у децентралізованому управлінні дощовою водою, слід коротко описати структуру рослинного шару зеленого даху. Конструкція дахів екстенсивного та інтенсивного використання дуже схожа (рис. 2). Існує одношарова і багатошарова конструкція (див. рис. 3) [4, с. 60].

<b>Одношарова конструкція</b>	<b>Багатошарова конструкція</b>
<p><b>1) Відповідна підконструкція даху</b> (несуча функція, відповідна теплоізоляція)</p> <p><b>2) Гідроізоляція даху або коренезахисна мембрана</b></p> <p><b>3) Захисний шар.</b> Шар із флісу, гумових гранульованих килимів тощо для захисту гідроізоляції даху від механічних пошкоджень</p> <p><b>4) Водовідведення.</b> Зберігання дощової води та скидання надлишкової води в каналізаційні споруди. Дренаж може бути виготовлений з пластмас або сипучих матеріалів.</p>	<p><b>5) Фільтрувальний фліс.</b> Синтетичний фліс, який відокремлює дренаж від шару рослинності та запобігає вимиванню дрібних частинок у дренаж.</p> <p><b>6) Багатошарова підкладка.</b> Базовий шар рослинності; спеціальна, технічно виготовлена підкладка для багатошарової конструкції.</p> <p><b>7) Одношарова підкладка.</b> Шар рослинної основи та дренажний шар; спеціальна, технічно виготовлена підкладка для одношарової конструкції.</p> <p><b>8) Рослинність.</b> Види рослин, які перевірені протягом багатьох років і адаптовані до місця розташування.</p>

Рис. 3. Види конструкцій зелених дахів

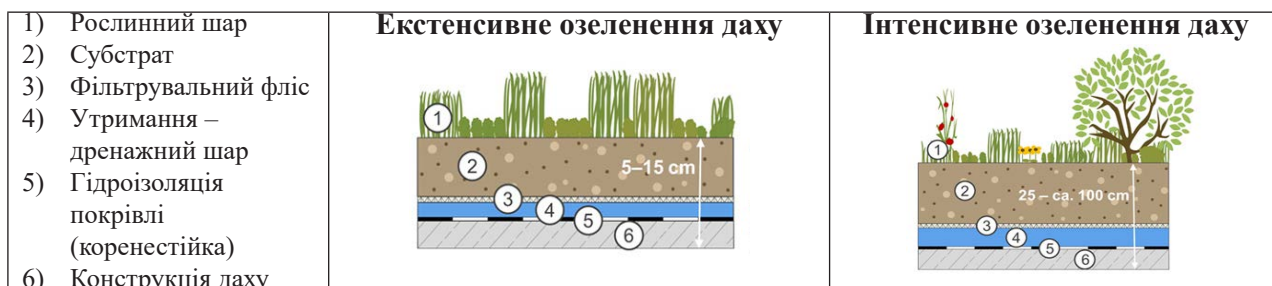


Рис. 2. Конструкція екстенсивного та інтенсивного дахів

Таблиця 1

**Порівняння одношарової та багатошарової конструкції відповідно до Манн**

Критерії	Одношарова конструкція	Багатошарова конструкція
Вид озеленення	Насамперед екстенсивний, але також можливо інтенсивний	Обширний і інтенсивний
Висота установки	Зазвичай 7–10 см	Приблизно від 10 см
Дренажний шар	Відсутність окремого дренажного шару, функція дренажу до базового шару рослинності інтегрований	Окремий шар дренажу
Фільтрувальний фліс	Немає	Зазвичай з фільтрувальним флісом
Базовий шар рослинності	Так, з функціями дренажу. Таким чином, більш мінеральні та крупнозернисті, ніж багатошарова конструкція.	Так, окремий базовий шар рослинності з органічними компонентами.
Поживна ємність	Низький через низький вміст органічних речовин	Високий завдяки органічним речовинам
Зберігання води	Завдяки одночасній функції дренажу нижче, ніж у багатошаровій конструкції.	Високі запаси води в рослинному шарі
Виконання дренажу	Менше ніж при багатошаровій конструкції	Висока за рахунок окремого дренажного шару
Крапельний полив	Підходить	Підходить
Зрошення дамб	Підходить	Підходить
Установка дросельних елементів	Підходить	Підходить
Використовувати в стоячій воді	Не підходить	Добре підходить, особливо для дренажних елементів
Можливий сорт рослин однакова висота конструкції	Менше ніж при багатошаровій конструкції	Високе біорізноманіття завдяки великій ємності для зберігання води.
Шар рослинності понад 35 см	Така ж структура, як під 35 см.	Необхідний ще один мінеральний шар.
Вартість	Зазвичай дешевше, ніж багатошарова конструкція.	При однаковій висоті дорожче, ніж при одношаровій конструкції.

Перерахування шарів починається з рослинності. З екстенсивними зеленими дахами важливо вибрати посухостійкі та регенеруючі рослини. В Україні у прохолодному помірному кліматі важливо, щоб рослини були певною мірою нечутливі до екстремальних температур як влітку, так і взимку, були стійкими до вітру та могли витримувати короткочасні затоплення під час сильних дощів.

У випадку з інтенсивними зеленими дахами ніщо не заважає різноманітному вибору рос-

лин, подібному до вибору рослин для звичайного саду. Тим не менш, якщо можливо, слід вибирати рослини, які менш сухі та чутливі до вітру та морозу.

Під рослинністю починається рослинний ярус. Для цього шару зазвичай використовують технічні субстрати, оскільки місцеві верхні шари ґрунту не відповідають вимогам. Оскільки субстрат є основою для рослинності, окрім хорошого проникнення коренів, він також повинен бути якомога легшим, мати

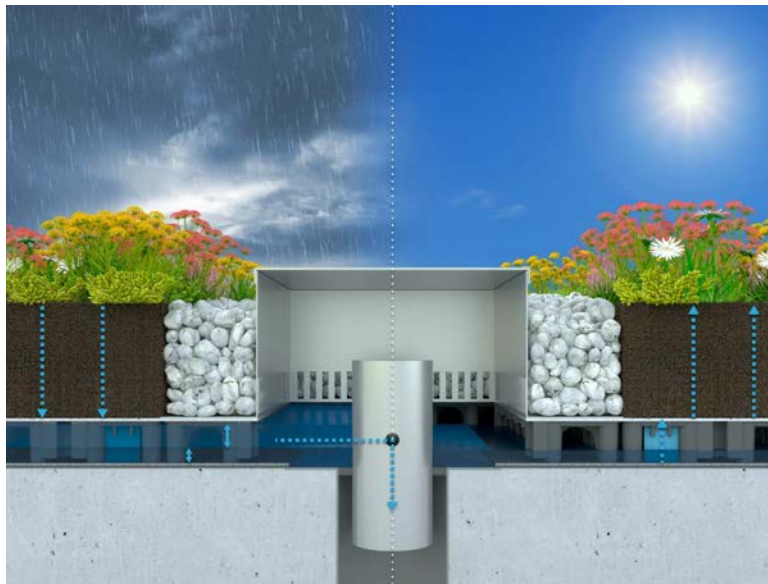


Рис. 4. Ретенційний дах (схема Optigrun international)

високу здатність накопичувати воду та водопроникність, містити достатній об'єм повітряних пор і бути вільним від небажаного насіння та коренів. Ці технічні субстрати зазвичай містять лаву, пемзу, спучений шифер, спучений бетон, уламки цегли, перегній кори та компост із зелених відходів [4, с. 64].

Фільтруючий шар відноситься до дренажного шару і відокремлює його від субстрату (рослинного шару). Тонкий фільтруючий фліс зазвичай виготовляється з поліпропілену або поліестеру. Це волокно має бути водопроникним, але запобігати потраплянню субстрату в дренажний шар, щоб підтримувати водопроникність і здатність зберігати воду [4, с. 62].

Дренажний шар може бути виготовлений із сипучих матеріалів, таких як лава, спучений шифер або керамзитобетон, перероблених сипучих матеріалів, таких як глиняна цегла, промисловий шлак або піноскло, дренажних матів, таких як структуровані флісові мати, пластикові гофровані мати, нитяні сітчасті мати, або килимки з пінопласту, дренажні панелі, такі як гумові гофровані панелі, профільовані панелі з твердого пластику або пінопласту, або дренажні панелі та панелі субстрату виготовлені з модифікованої піни. Дренажний шар, який має будівельну висоту приблизно від 1 до 6 см у екстенсивному зеленому даху та приблизно 6 до 15 см у інтенсивному зеленому даху, має основне завдання відводити надлишок води від конструкції даху в напрямку водостоків та водостічної системи.

Щоб запобігти проникненню коренів і води всередину будівлі, необхідно укласти даховий ущільнювач і стійкий до коренів шар із захисним покриттям. Він повинен бути адаптований до типу зеленого даху, який буде встановлено [4, с. 62]. Ущільнювальний матеріал зазвичай складається з бітумних, пластикових або еластомерних листів, також можлива рідка герметизація. Згідно із *FLL Green Roof Guidelines*. Якщо обрана гідроізоляція покрівлі ще не є стійкою до коренів, необхідно нанести додатковий шар захисту від коренів.

Основні переваги зелених дахів у децентралізованому управлінні дощовою водою полягають у тому, що субстрат і дренаж затримують частину дощової води. Залежно від системи та висоти конструкції можна досягти значень водоутримання від 30 до 99% річних опадів. Це допомагає розвантажити каналізаційну систему [4 с. 76].

Порівняльні дослідження в Пекіні [5] також підтверджують велику дисперсію у значеннях збереження. Експериментально лише близько 20% зберігається під час сильного дощу з опадами 45 мм, тоді як близько 80% зберігається у випадку опадів до 20 мм з товщиною конструкції, яка використовується. Незважаючи на велику різницю у значеннях, технологія зеленого даху вже впроваджується в багатьох містах Китаю як типовий метод («місто-губка»).

Піро та ін. [6] дослідили поведінку утримування зелених дахів у середземноморському кліматі (Калабрія) і надали докази ефекту утри-

мування та зміщення максимального піку стоку під час сильного дощу. Подібна робота з Валенсії (Іспанія) [7] розглядає ефект утримання та потенційну ефективність випаровування зелених дахів від 1 мм/день взимку до 4–6 мм/день влітку, залежно від водопостачання.

Ретенційний дах являє собою комбінацію звичайного зеленого даху з додатковим водозбірником і пасивним зрошенням через капілярний підйом. Така форма озеленення ще не набула широкого поширення, виникають додаткові витрати і більша навантажувальна здатність. Іноді цей тип озеленення використовується в підземних гаражах для створення додаткового місця на території. Дошова вода просочується крізь шар рослинності та субстрату, а потім спрямовується в утримуючий пристрій із надзвичайно профільованого пластику. Це зберігає воду і випускає її в каналізацію з великою затримкою. Є також варіант створення постійного накопичення води на даху. З цим варіантом також можна використовувати профільовані пластикові плити.

Для того, щоб створити на даху резервуар для зберігання води, потрібно збільшити на потрібну висоту лише дренаж, який власне і відводить воду. Якщо водостік збільшити, наприклад, на 4 см, то на даху можна накопичити додатково 40 літрів води на квадратний метр. Це значно знижує швидкість стікання дахів. Крім того, накопичена вода доступна для рослин (усі постачальники систем зелених дахів пропонують системне рішення з капілярною системою, яка повертає воду до шару субстрату і таким чином робить її доступною для рослин). Вода, доступна для рослин, випаровується природним шляхом, охолоджуючи навколишнє середовище. Різні постачальники систем для зелених дахів пропонують різні рішення для створення такого накопичення. Висота накопичення води коливається від 1 см до 15 см (наскільки дозволяє статика).

Із обома системами децентралізованого управління дощовою водою не слід забувати, що витрати на утилізацію дощової води, які розраховуються в Німеччині євро/м<sup>2</sup> площі даху,

можна зменшити за допомогою розділених зборів за каналізацію. Зелені дахи, які зберігають значну частину дощової води, як описано вище, зазвичай винагороджуються 50% знижкою [8].

#### Висновки:

1. Використання зелених дахів для децентралізованого управління дощовою водою стає все популярнішим у сучасному світі. Це екологічний та ефективний спосіб контролю за стоком дощової води, покращення мікроклімату в містах та збільшення біорізноманіття.

2. Ось основні переваги та принципи дії зелених дахів у контексті децентралізованого управління дощовою водою:

- Рослини та ґрунт на зелених дахах затримують частину дощової води, зменшуючи швидкість її стоку на поверхню. Це може запобігти перевантаженню систем водовідведення під час сильних дощів.

- Рослини на даху випаровують воду назад в атмосферу, зменшуючи загальний обсяг стоку дощової води та створюють повний цикл евапотранспірації.

- Ґрунт на зеленому даху допомагає фільтрувати та видалити забруднювачі з дощової води.

- Завдяки біологічній активності в ґрунті зеленого даху, вода, яка витікає з нього, часто має кращу якість.

- Зелені дахи відображають сонячне випромінювання та забезпечують додаткову ізоляцію, що сприяє зниженню температури в місті та зменшенню ефекту «теплого острова» в місті.

- Зелені дахи можуть знизити потребу в централізованому управлінні дощовою водою, зменшуючи необхідність великих інвестицій в інфраструктуру.

- Ці дахи створюють простір для різних видів рослин та тварин, сприяючи збереженню біорізноманіття в міському середовищі.

3. Для ефективного використання зелених дахів у системі децентралізованого управління дощовою водою необхідно ретельно планувати їх дизайн, враховуючи місцеві кліматичні умови, типи рослин та інші фактори.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Sieker, F.; Kaiser, M.; Sieker, H. (2006): *Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich. Grundlagen und Ausführungsbeispiele.* Unter Mitarbeit von Frank Panning und Harald Sommer. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
2. Johannessen, B.; Muthanna, T.; Braskerud, B. (2018): *Detention and Retention Behavior of Four Extensive Green Roofs in Three Nordic Climate Zones.* In: *Water* 10 (6), S. 671. DOI: 10.3390/w10060671.

3. Viola, F.; Hellies, M.; Deidda, R. (2017): Retention performance of green roofs in representative climates worldwide. In: *Journal of Hydrology* 553, S. 763–772. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.08.033.
4. Mann, G. (2012): 4.2 Vegetationstechnik. In: *Handbuch Bauwerksbegrünung: „Planung, Konstruktion, Ausführung.*
5. Gong, Y.; Yin, D.; Fang, X.; Li, J. (2018): Factors Affecting Runoff Retention Performance of Extensive Green Roofs. In: *Water* 10 (9), S. 1217. DOI: 10.3390/w10091217.
6. Piro, P.; Carbone, M.; de Simone, M.; Maiolo, M.; Bevilacqua, P.; Arcuri, N. (2018): Energy and Hydraulic Performance of a Vegetated Roof in Sub-Mediterranean Climate. In: *Sustainability* 10 (10), S. 3473. DOI:10.3390/su10103473.
7. Andrés-Doménech, I.; Perales-Momparler, S.; Morales-Torres, A.; Escuder-Bueno, I. (2018): Hydrological Performance of Green Roofs at Building and City Scales under Mediterranean Conditions. In: *Sustainability* 10 (9), S. 3105. DOI: 10.3390/su10093105.
8. Ansel, W. (2012): Gebäudebegrünung und Stadtplanung. In: *Handbuch Bauwerksbegrünung: „Planung, Konstruktion, Ausführung“.*

#### REFERENCES:

1. Sieker, F.; Kaiser, M.; Sieker, H. (2006): *Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich. Grundlagen und Ausführungsbeispiele.* Unter Mitarbeit von Frank Panning und Harald Sommer. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
2. Johannessen, B.; Muthanna, T.; Braskerud, B. (2018): Detention and Retention Behavior of Four Extensive Green Roofs in Three Nordic Climate Zones. In: *Water* 10 (6), S. 671. DOI: 10.3390/w10060671.
3. Viola, F.; Hellies, M.; Deidda, R. (2017): Retention performance of green roofs in representative climates worldwide. In: *Journal of Hydrology* 553, S. 763–772. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.08.033.
4. Mann, G. (2012): 4.2 Vegetationstechnik. In: *Handbuch Bauwerksbegrünung: „Planung, Konstruktion, Ausführung.*
5. Gong, Y.; Yin, D.; Fang, X.; Li, J. (2018): Factors Affecting Runoff Retention Performance of Extensive Green Roofs. In: *Water* 10 (9), S. 1217. DOI: 10.3390/w10091217.
6. Piro, P.; Carbone, M.; de Simone, M.; Maiolo, M.; Bevilacqua, P.; Arcuri, N. (2018): Energy and Hydraulic Performance of a Vegetated Roof in Sub-Mediterranean Climate. In: *Sustainability* 10 (10), S. 3473. DOI:10.3390/su10103473.
7. Andrés-Doménech, I.; Perales-Momparler, S.; Morales-Torres, A.; Escuder-Bueno, I. (2018): Hydrological Performance of Green Roofs at Building and City Scales under Mediterranean Conditions. In: *Sustainability* 10 (9), S. 3105. DOI: 10.3390/su10093105.
8. Ansel, W. (2012): Gebäudebegrünung und Stadtplanung. In: *Handbuch Bauwerksbegrünung: „Planung, Konstruktion, Ausführung“.*