

Efektywność systemów wykorzystania wody deszczowej w budynkach handlowo-usługowych

Efficiency of rainwater harvesting systems in commercial buildings

GRAŻYNA SAKSON-SYSIAK, PRZEMYSŁAW ZYZIK

DOI 10.36119/15.2024.1.3

Występujące niedobory wody i wzrastająca cena wody wodociągowej coraz częściej skłaniają inwestorów do poszukiwania alternatywnych źródeł zasilania instalacji wodociągowych. Systemy gromadzenia wody deszczowej i jej wykorzystania na potrzeby niewymagające jakości wody do picia są stosowane nie tylko w budynkach mieszkalnych, ale także handlowych, usługowych, sportowych i przemysłowych. W artykule przedstawiono wyniki analiz funkcjonowania takich rozwiązań w dwóch obiektach: salonie samochodowym i stacji paliw. Wielkość systemów i przeznaczenie wody deszczowej w obu obiektach są różne, podobnie jak ich lokalizacja. W oparciu o dobowe dane o wysokości opadów w latach 2018-2022 ustalono m.in. efektywność działania i potencjalne możliwości systemów w obu obiektach w odniesieniu do ustalonego zapotrzebowania na wodę deszczową, a także czas zwrotu nakładów inwestycyjnych. Mimo, że systemy nie umożliwiły pełnego pokrycia zapotrzebowania na wodę gorszej jakości w obu obiektach, ich zastosowanie można uznać za ekonomicznie opłacalne. Tego typu analizy, jak opisane w artykule umożliwiają dobór odpowiednich parametrów przy projektowaniu systemów gromadzenia i wykorzystania wód deszczowych i ułatwiają inwestorom podjęcie decyzji o zastosowaniu takich rozwiązań w budowanych obiektach.

Słowa kluczowe: alternatywne źródła wody, system wykorzystania wody deszczowej, instalacje wodociągowe, efektywność i opłacalność inwestycji

Occurring shortages of water and the increasing price of potable water more and more often encourage investors to look for alternative sources of supply to water supply systems. Rainwater harvesting systems and its use for purposes that do not require drinking water quality are applicable not only in residential buildings, but also in commercial, service, sports and industrial buildings. The article presents the results of functioning analysis of such solutions in two facilities: a car dealership and a petrol station. The size of the systems and the purpose of the rainwater at the two sites are different, as is their location. Based on daily data on the of precipitation depth in 2018-2022, the efficiency and potential capabilities of the systems in both facilities in relation to the specified rainwater demand, as well as the payback time of investment outlays were established. Although the system did not fully cover the demand for non potable water in both facilities, their use can be considered economically viable. This type of analysis, as described in the article, enable the selection of appropriate parameters when designing rainwater harvesting systems and make it easier for investors to decide on the use of such solutions in constructed facilities.

Keywords: alternative water sources, rainwater harvesting system, water supply systems, investment efficiency and profitability

Wstęp

Wzrastająca cena wody wodociągowej, będąca skutkiem m.in. konieczności jej transportu na dalekie odległości i stosowania coraz bardziej zaawansowanego technologicznie i kosztownego procesu uzdatniania, skłaniają do poszukiwania alternatywnych źródeł zasilania instalacji wodociągowych w budynkach. Aspekt ekonomiczny nie jest obecnie jedynym motorem tych działań. Niedobory wody, zwłaszcza w okresie letnim w niektórych rejonach kraju stają się coraz częstsze. Jesteśmy krajem mało zasobnym pod tym względem, na jednego mieszkańca przypada 1600 m³ odnawial-

nych zasobów słodkiej wody. W Europie znajdujemy się na 24 miejscu tuż przed Czechami, Cyprzem i Maltą. Polska jest zagrożona stresem wodnym, gdyż według ONZ granicą, poniżej której występuje takie zagrożenie jest 1700 m³ na mieszkańca [5].

Najczęściej jako alternatywne źródło wody stosuje się wodę deszczową lub wodę szarą. W przypadku wody deszczowej system, w który należy wyposażać budynek w najprostszym układzie składa się z przewodów doprowadzających wodę z dachu do zbiornika (wyposażonego w filtr na włocie do usuwania grubszych zanieczyszczeń), zbiornika (zlokalizowanego wewnątrz lub na zewnątrz budynku) oraz pom-

py i przewodów doprowadzających wodę deszczową do punktów czerpalnych. Budynek musi więc posiadać dualną instalację wodociągową, a zbiornik na wodę deszczową doprowadzenie wody wodociągowej na wypadek dłuższych okresów suszy i przelew np. do kanalizacji, konieczny przy dłuższych lub bardziej intensywnych opadach [15, 16]. Jakość wody deszczowej, szczególnie spływającej z dachów budynków jest na tyle dobra, że właściwie bez uzdatniania może być ona stosowana wszędzie tam, gdzie nie jest wymagana jakość wody do picia: do spłukiwania toalet, podlewania zieleni, mycia pojazdów, posadzek itp. (tabela 1).

dr hab. inż. Grażyna Sakson-Sysiak, prof. uczelni <http://orcid.org/0000-0002-6022-7771>, mgr inż. Przemysław Zyzik – Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, Łódź, Autor do korespondencji / Corresponding author: grazyna.sakson-sysiak@p.lodz.pl;

Tabela 1. Jakość wody deszczowej zbieranej z dachów wg badań krajowych i zagranicznych w porównaniu z wymaganiami dla wody do picia
Table 1. The quality of rainwater harvested from roofs according to Polish and foreign studies in comparison with the requirements for drinking water

Lp	Wskaźnik	Jednostka	[21]	[4]	[19]	[24]	Wymagania dla wody do picia [14]
1.	pH	-	6,6	6,9	8,31	6,2	6,5-9,5
2.	Przewodność	μS/l	72,4	77,1	103	38,2	2500
3.	Barwa	mgPt/l	30	-	-	19	akceptowalna
4.	Mętność	NTU	2,4	12,7	-	2	1
5.	Utlенialność/OWO	mg/l	2,5	4,19 ^{OWO}	-	2,2 ^{OWO}	5
6.	Azot amonowy	mg/l	0,41	=	0,01	0,32	0,5
7.	Twardość	mg/l	28,02	24,9	40	11	60-500
8.	Chlorki	mg/l	2	-	7	1,7	250
9.	Siarczany	mg/l	3	-	8	1,8	250
10.	Zawiesiny ogólne	mg/l	10	13,4	-	-	-

W przypadku pokryć dachowych wykonanych z blachy ocynkowanej lub miedzianej woda deszczowa może zawierać znaczne ilości metali, głównie cynku i miedzi, ale to nie dyskwalifikuje jej do ww. zastosowań [18]. Przetrzykiwanie wody w zbiorniku przez 30 dni powoduje pewne zmiany w jej składzie, jednak nie na tyle znaczące, aby uniemożliwiały jej wykorzystanie [21]. Koszty uzdatniania wody deszczowej w systemach są stosunkowo niewielkie, na ogół mieszczą się w granicach 2-9% kosztów inwestycyjnych [6]. Najdroższym elementem jest zbiornik do gromadzenia wody, jego koszt to min. 30-50% kosztów inwestycyjnych, dlatego określenie jego optymalnej wielkości jest bardzo istotne i warunkuje efektywność inwestycji.

Choć wydawałoby się, że wykorzystywanie wody deszczowej tam, gdzie nie jest wymagana woda o jakości wody do picia jest oczywiste ze względu na jej dostępność i brak opłat za jej „pobór”, to jednak należy pamiętać o tym, że nieprawidłowo zaprojektowany system może nie spełniać oczekiwań inwestora, przede wszystkim pod względem ekonomicznym. Główną przyczyną jest nierównomierność i nieprzewidywalność zjawisk opadowych. Systemy wykorzystania wody deszczowej najlepiej sprawdzają się w rejonach, gdzie roczna wysokość opadów jest znaczna, a opady są w miarę równomierne. Tymczasem obserwowane również w Polsce zmiany klimatyczne przejawiają się m.in. dłuższymi okresami suszy i częstszym występowaniem opadów o charakterze nawałnym.

Prawidłowo zaprojektowany system wykorzystania wody deszczowej pozwala na zaoszczędzenie kilkudziesięciu procent wody wodociągowej. Czas zwrotu nakładów inwestycyjnych jest bardzo zróżnicowany w różnych krajach, również w zależności od zastosowanych rozwiązań materiałowych i technologicznych. Wynosi od roku do kilkudziesięciu lat i systematycznie się skraca, obecnie często nie przekracza kilku-

nastu lat. Najlepiej przebadane i przenalizowane pod względem ekonomicznym i efektywności są systemy stosowane w budynkach mieszkalnych [1,15]. Dobrze sprawdzają się też w tym przypadku proste metody projektowania, szczególnie dobór wielkości zbiornika [15,16]. Najlepsze efekty uzyskuje się jednak w przypadku budynków wielkopowierzchniowych, o charakterze handlowo-usługowym lub sportowym [6,11,15]. W tabeli 2 przedstawiono charakterystykę kilku systemów funkcjonujących w różnych obiektach tego typu.

Jak można zauważyć, istnieje tu dość duże zróżnicowanie pod względem przeznaczenia wody i w związku z tym wielkości zapotrzebowania, efektywności i czasu zwrotu nakładów inwestycyjnych. To sugeruje, że w przypadku tego rodzaju obiektów warto zrobić bardziej dokładną analizę na etapie projektowania inwestycji. Poniżej przedstawiono analizę efektywności systemów zbierania i wykorzystania wód opadowych dla dwóch obiektów o charakterze

handlowo-usługowym: salonu samochodowego i stacji paliw.

Obiekty i metody analiz

Pierwszy obiekt to salon samochodowy w województwie mazowieckim wybudowany w 2022 roku. Główny budynek składa się z dwóch kondygnacji, o łącznej powierzchni użytkowej wynoszącej 1854 m². Budynek pełni funkcje serwisu i salonu sprzedaży aut nowych i używanych. W części serwisowej zlokalizowana jest myjnia samochodów osobowych. W budynku znajduje się sześć toalet oraz trzy pomieszczenia socjalne wyposażone w przybory sanitarne. Powierzchnia dachu budynku salonu samochodowego wynosi 1635 m². Na działce znajduje się również mniejszy budynek, wykorzystywany jako magazyn części i aut, o powierzchni dachu 665 m². W tym budynku ze względu na jego przeznaczenie nie została wykonana instalacja do odzysku wód deszczowych, Z dachu zbierana jest jednak woda, która zasila instalację w budynku głównym. Przyjęto, że woda deszczowa będzie wykorzystywana do splukiwania pisuarów i misek ustępowych, mycia samochodów i posadzek w pomieszczeniach serwisowych. Na podstawie informacji uzyskanych od inwestora dotyczących liczby pracowników i klientów, a także charakterystyki zainstalowanych przyborów sanitarnych i automatycznej myjki posadzek oraz także liczby mytych samochodów i jednostkowego zużycia wody na ten cel ustalono dzienne zapotrzebowania na wodę deszczową, podane w tabeli 3.

Woda deszczowa z dachów obu budynków jest gromadzona w dwóch żelbetowych zbiornikach, każdy o pojemności 32 m³,

Tabela 2. Przykłady systemów zbierania i wykorzystania wód deszczowych w obiektach niemieszkalnych
Table 2. Examples rainwater harvesting systems in non-residential buildings

Obiekt, lokalizacja	Przeznaczenie wody	Efektywność systemu (%)	Oszczędność wody wodociągowej (%)	Czas zwrotu nakładów inwestycyjnych (lata)
Lotnisko, Confins, stan Minas Gerais, Brazylia [11]	Splukiwanie toalet, cele porządkowe, podlewanie zieleni	57-100	66-100	3,4-23
Lotnisko Schiphol, Amsterdam [6]	Splukiwanie toalet, ew. gaszenie pożarów	-	58	30
Centra handlowe, Malezja [7]	Na cele niewymagające wody do picia	duże: 97 małe: 91	-	duże: 3-4,5 małe: 6-10,5
Centrum handlowe, Braga, Portugalia [9]	Splukiwanie toalet, podlewanie zieleni, mycie nawierzchni parkingów i chodników	-	18-23	2-6
Obiekt sportowy, Cascis Portugalia [13]	Nawadnianie kortów tenisowych	2-100 w poszczególne miesiące	50	11,9

Tabela 3. Dienne zapotrzebowanie na wodę deszczową w salonie samochodowym
Table 3. Daily rainwater demand in a car dealership

Lp.	Cel	Jednostkowe zużycie wody [dm ³]	Liczba splukań/użyć [szt./d]	Zużycie dobowe [dm ³ /d]
1.	Splukiwanie pisuaru	3	300	900
2.	Splukiwanie miski ustępowej	6	350	2100
Razem:				3000

a następnie poprzez zestaw hydroforowy zasila instalację wody deszczowej w budynku głównym. Koszt budowy całego systemu wg danych dla 2021 roku podano w tabeli 4.

Drugi analizowany obiekt to stacja paliw zlokalizowana w województwie łódzkim przy drodze głównej. W tym obiekcie woda

Tabela 4. Koszt systemu zbierania i wykorzystania wody deszczowej w salonie samochodowym
Table 4. The cost of rainwater harvesting system in a car dealership

Lp.	Element systemu	Wartość
1.	Instalacja wewnętrzna odzysku wody deszczowej	5 425,00 zł
2.	Instalacja zewnętrzna odzysku wody deszczowej	22 340,00 zł
3.	Wykonanie zbiornika wody deszczowej 64 m ³	34 400,00 zł
4.	Zestaw hydroforowy	9 500,00 zł
Razem:		71 665,00 zł

opadowa będzie zbierana z dachu budynku o powierzchni 790 m² i wykorzystywana jedynie do splukiwania 5 pisuarów i 3 misek ustępowych przeznaczonych dla pracowników i klientów. W przypadku tego typu

Tabela 5. Dienne zapotrzebowanie na wodę deszczową w stacji paliw
Table 5. Daily rainwater demand in a petrol station

Lp.	Cel	Jednostkowe zużycie wody [dm ³]	Liczba splukai/uzyc [szt./d]	Zużycie dobowe [dm ³ /d]
1.	Splukiwanie pisuaru	3	180	540
2.	Splukiwanie miski ustępowej	6	120	720
3.	Mycie samochodów	90	42	3780
4.	Mycie posadzki serwisu	100	2	200
Razem:				5240

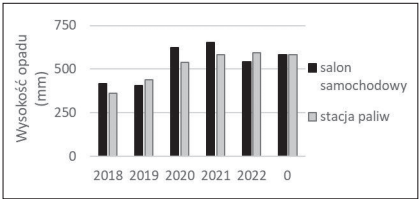
obiektów ustalenie zapotrzebowania na wodę deszczową dla systemu odzysku jest trudne. W stacjach zlokalizowanych na terenach miast jest ono z reguły mniejsze niż poza miastami, gdzie często z toalet korzystają nie tylko osoby kupujące paliwo, ale również te, dla których jest to główny cel postoju. W podanym niżej zestawieniu zapotrzebowania na wodę deszczową przyjęte wartości są więc jedynie szacunkowe.

Cały system składa się instalacji sprawa-
dzającej wodę z dachu budynku, zbiornika na wodę deszczową o pojemności 24 m³, instalacji wewnątrz budynku i zestawu hydroforowego. Koszt systemu przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Koszt systemu zbierania i wykorzystania wody deszczowej w stacji paliw
Table 6. The cost of rainwater harvesting system in a petrol station

Lp.	Nazwa	Wartość
1.	Instalacja wewnętrzna odzysku wody deszczowej	2 650,00 zł
2.	Instalacja zewnętrzna odzysku wody deszczowej	4 500,00 zł
3.	Wykonanie zbiornika wody deszczowej 24 m ³	10 500,00 zł
4.	Zestaw hydroforowy	5 200,00 zł
Razem:		22 850,00 zł

Analizy funkcjonowania systemu zostały przeprowadzone w oparciu o dobowe dane opadowe dla miejsc lokalizacji poszczególnych obiektów z lat 2018-2022. Dla porównania uwzględniono też dane o opadach z wielolecia dla danego regionu [25]. Jak widać z zestawienia przedstawionego na rys. 1 roczna wysokość opadów w uwzględnianym okresie była na ogół niższa, niż dla wielolecia, co z pewnością wpływa na wyniki analiz. Należy jednak pamiętać, że obserwowane w ostatnich latach zmiany klima-



Rys. 1. Roczna wysokość opadów w latach 2018-2022 i z wielolecia (0) w miejscach lokalizacji salonu samochodowego i stacji paliw
Fig. 1. Annual depth of precipitation in 2018-2022 and for many years (0) in the locations of the car dealership and petrol station

tu wiążą się ze zmianami charakterystyki opadów i mogą rzutować na projektowanie i efektywność działania urządzeń służących do zagospodarowania wód opadowych.

Łączne zestawie podstawowych parametrów dla obu obiektów podano w tabeli 7.

Obliczenia podstawowych parametrów umożliwiających ocenę funkcjonowania systemów oparto na bilansowaniu ilości wód opadowych w zbiorniku dla pojedynczej

doby, przeprowadzonym w arkuszu Excel. Dopływ wody opadowej R do zbiornika obliczono na podstawie danych o wysokości opadu i powierzchni dachu, z której zbierana jest woda opadowa. Pobór wody Z ze zbiornika przyjęto na podstawie ustalonego wcześniej zapotrzebowania. W przypadku salonu samochodowego założono, że pracuje on od poniedziałku do soboty z wyłączeniem świąt i dni wolnych od pracy. W dniach, w których w zbiorniku brakuje wody jest on uzupełniany wodą wodociągową W, natomiast w przypadku przepełnienia zbiornika nadmiar Q jest odprowadzany do kanalizacji. Wyjściowe równanie bilansowe ma więc następującą postać:

$$R_t + W_t - Z_t - Q_t = V_t - V_{t-1}$$

z ograniczeniami:

$$W_t = 0 \text{ gdy } V_t + R_t \geq Z$$

$$Q_t = 0 \text{ gdy } V_t \leq V_c \text{ i } V_{t+1} \leq V_c$$

W ten sposób dla przyjętej objętości zbiornika dla poszczególnych lat ustalono efektywność działania systemu E_T jako zużycie wody deszczowej w % w stosunku do zapotrzebowania na tę wodę Z_T, czyli

$$E_T = \frac{\sum_{t=1}^T Z - \sum_{t=1}^T W}{\sum_{t=1}^T Z} 100\%$$

T – okres, dla którego wykonywano pomiary opadu.

Ustalono również potencjalne możliwości wykorzystania wody deszczowej P_T w stosunku do zapotrzebowania, określane dla przypadku, gdy cała ilość wody deszczowej jest wykorzystywana, a więc nie występuje odprowadzanie wód opadowych do kanalizacji.

Tabela 7. Charakterystyka analizowanych obiektów
Table 7. Characteristics of the analyzed objects

Charakterystyka obiektu	1	2
Rodzaj obiektu	Salon samochodowy	Stacja paliw
Powierzchnia dachu, m ²	2300	790
Przeznaczenie wody deszczowej	Splukiwanie pisuarów i misek ustępowych, mycie samochodów, mycie posadzek	Splukiwanie pisuarów i misek ustępowych
Zapotrzebowanie na wodę deszczową, m ³ /rok	1595	1098
Pojemność zbiornika do gromadzenia wody deszczowej, m ³	64	24
Śr. roczna wysokość opadów w latach 2018-2022, mm	538	516
Śr. roczna wysokość opadów z wielolecia, mm	584	582
Objętość wody deszczowej, która spada na dach przy średnim opadzie z wielolecia, m ³	1343	462
Liczba dni, w których zbiornik pokryje zapotrzebowanie na wodę	12,2	8
Powierzchnia dachu przypadająca na 1 m ³ zbiornika	35,9	32,9
Pojemność zbiornika w stosunku do rocznej objętości wody deszczowej z dachu, %	4,8	5,2
Cena wody wodociągowej, zł/m ³	4,80	5,14

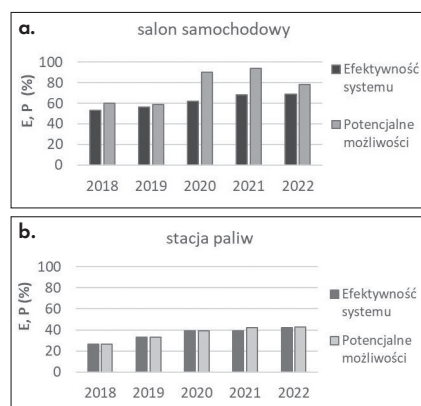
$$P_T = \frac{\sum_{t=1}^T R}{\sum_{t=1}^T Z} \cdot 100\%$$

Obliczenia wykonano osobno dla każdego roku. Na podstawie ilości zaoszczędzonej wody wodociągowej i jej ceny ustalono oszczędności roczne i czas zwrotu nakładów inwestycyjnych.

Wyniki i dyskusja

Wyniki analiz dotyczące efektywności i potencjalnych możliwości systemów w poszczególnych latach przedstawiono na rys. 2.

Efektywność była wyższa w przypadku salonu samochodowego niemal dwukrotnie w stosunku do stacji paliw. Związane jest to m.in. z wielkością zbiornika i powierzchnią



Rys. 2.

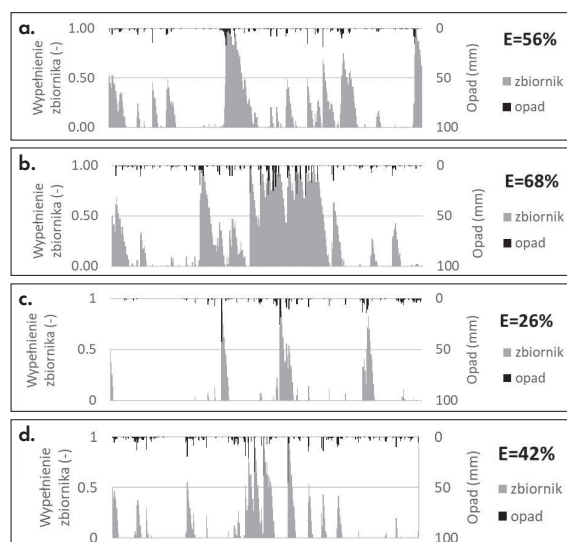
Efektywność systemu wykorzystania wody deszczowej i jego potencjalne możliwości w latach 2018-2022 dla salonu samochodowego (a) i stacji paliw (b)

Fig. 2. Efficiency of rainwater harvesting system and its potential in 2018-2022 for a car dealership (a) and petrol station (b)

zbierania wody. W przypadku systemów gromadzenia i wykorzystania wody deszczowej w budynkach mieszkalnych wielkość zbiornika ustalana jest z reguły w sposób uproszczony wg jednej z następujących metod: w odniesieniu do zapotrzebowania na tę wodę (pokrycie zapotrzebowania na wodę przez 14-30 dni), liczby mieszkańców (przyjmuje się 1 m³ zbiornika dla 1 osoby), w stosunku do powierzchni dachu, z której zbierana jest woda deszczowa (1 m³ na 25 m² dachu) lub w odniesieniu do rocznej wysokości opadów w danym rejonie (5÷6% rocznej objętości wody opadowej spływającej z dachu) [16]. Dla analizowanych tu systemów wartości te są niższe, zwłaszcza liczba dni, w czasie których zapotrzebowanie na wodę może być w pełni pokryte wodą ze zbiornika. W przypadku stacji paliw ilość zgromadzonej w zbiorniku wody wystarcza jedynie na 8 dni. Stopień napełnienia zbiornika w ciągu roku w stacji paliw jest znacznie niższy niż w salonie samochodowym, co widać na rys. 3.

Rys. 3. Wypełnienie zbiorników w latach o najniższej i najwyższej efektywności systemów: salon samochodowy 2019 r. (a), salon samochodowy 2021 r. (b), stacja paliw 2018 r. (c), stacja paliw 2020 r. (d)

Fig. 3. Tank filling in the years with the lowest and highest system efficiency: car dealership 2019 (a), car dealership 2021 (b), petrol station 2018 (c), petrol station 2020 (d)



Rys. 4.

Stopień wykorzystania wody deszczowej w zależności od zebranej ilości w ciągu roku

Fig. 4. Rainwater utilization rate depending on the harvested volume during the year

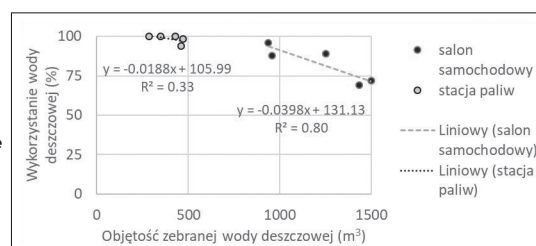


Tabela 8. Ocena efektywności systemów wykorzystania wody deszczowej, wartości średnie z lat 2018-2022

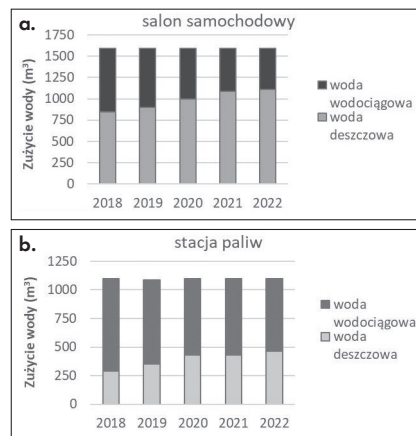
Table 8. Efficiency assessment of rainwater harvesting systems, average values in 2018-2021

Lp	Parametr	Jednostka	Obiekt 1	Obiekt 2
1.	Efektywność systemu	%	62	36
2.	Liczba dni z niedoborem wody deszczowej	dni	134	250
3.	Liczba przelewów do kanalizacji	-	12,8	3,4
4.	Potencjalne możliwości systemu	%	76	37
5.	Czas zwrotu nakładów inwestycyjnych	lata	15,6	11,4

Niemal 100% zbieranej z dachu wody w stacji paliw jest wykorzystywana, jedynie w 2021 i 2022 r., kiedy to wystąpiły największe opady kilka procent wody trafiało do kanalizacji. Potencjalne możliwości systemu są więc w tym obiekcie niemal w pełni wykorzystane. W przypadku salonu samochodowego sytuacja jest nieco inna w latach 2020 i 2021, gdy wysokość opadu jest znacznie większa niż w roku 2018 i 2019. Potencjalne możliwości systemu przewyższają zapotrzebowanie na wodę deszczową i w tych latach mogłaby ona być wykorzystywana również na inne cele, np. podlewanie zieleni. W przypadku tego obiektu występuje wyraźna zależność stopnia wykorzystania wody deszczowej od objętości zbieranej wody deszczowej (rys. 4)

Średnie wyniki dotyczące efektywności systemów w obu obiektach w latach 2018-2022 przedstawiono w Tabeli 8.

Widać, że są one wyraźnie lepsze w przypadku salonu samochodowego niż w przypadku stacji paliw. Jednak czas zwrotu nakładów inwestycyjnych jest krótszy w przypadku stacji paliw. Ewidencja w tym przypadku zarówno powierzchnia zbierania wody, jak i zbiornik są zbyt małe w stosunku do zapotrzebowania na wodę deszczową.



Rys. 5.

Zużycie wody deszczowej i wody wodociągowej w systemach wykorzystania wody deszczowej w salonie samochodowym (a) i stacji paliw (b)

Fig. 5. Consumption of rainwater and tap water in rainwater harvesting systems in the car dealership (a) and petrol station (b)

Jednak system umożliwił zaoszczędzenie znacznej ilości wody wodociągowej (rys. 5), a jednocześnie był mniej kosztowny niż w salonie samochodowym.

W przypadku stacji paliw cała ilość zebranej wody deszczowej jest wykorzystywana i częste niedobory są uzupełniane wodą

wodociągową. Budowa większego (droższego) zbiornika nie poprawiłaby sytuacji, ponieważ powierzchnia zbierania wody (dachu) jest zbyt mała. Jeżeli założone zapotrzebowanie na wodę deszczową potwierdziłoby się, należałoby szukać innych powierzchni do zbierania wody, np. z parkingu i chodników, ale wówczas być może konieczny byłby dodatkowy system podczyszczania, co podniosłoby koszt całkowity systemu. Zarówno dla zbyt małych zbiorników jak i zbyt dużych, opłacalność stosowania systemów, w szczególności czas zwrotu nakładów inwestycyjnych nie będą zadowalające. Przy zbyt małej pojemności zbiornika gromadzona ilość wody opadowej w niewielkim stopniu pokrywa zapotrzebowanie. Zbyt duży zbiornik będzie kosztowny, a jego pojemność nie będzie w pełni wykorzystywana. Poszukiwanie optymalnej wielkości zbiornika wymaga przeanalizowania kilku rozwiązań (różnych pojemności zbiornika) w oparciu o dane opadowe z co najmniej kilku lat. W efektywnie działającym systemie wielkości powierzchni, z której zbierana jest woda deszczowa, zapotrzebowanie i wielkość zbiornika są ściśle ze sobą powiązane [8, 10, 15, 22].

Przedstawione analizy dowodzą jednak, że nawet inwestowanie w system, który nie będzie w stanie w znacznym stopniu pokryć zapotrzebowania na wodę gorszej jakości, może być korzystne pod względem ekonomicznym. Istotne znaczenie ma tu cena wody wodociągowej, nieco wyższa w przypadku stacji paliw. Można przypuszczać, że nieunikniony ciągły wzrost cen wody spowoduje skrócenie czasu zwrotu nakładów inwestycyjnych w przypadku stosowania systemów wykorzystania wody deszczowej. Znaczenie mogłaby mieć również wysokość opłat za odprowadzanie wód deszczowych do kanalizacji, a właściwie ewentualne ulgi w opłatach [17]. W obliczeniach nie uwzględniono możliwych korzyści wynikających z ograniczenia opłat za odprowadzanie wód opadowych do kanalizacji lub za zmniejszenie naturalnej retencji terenowej, przewidywanych w ustawie Prawo wodne [23] w przypadku stosowania urządzeń do retencjonowania wody z powierzchni uszczelnionych. Mogą one podnieść atrakcyjność finansową omawianych rozwiązań, mimo, że mniejsze rozproszone zbiorniki retencyjne są droższe [2], ale pod warunkiem stosowania odpowiednio dużych obniżek tych opłat. W obu analizowanych przykładach pojemność zbiorników retencyjnych nie przekracza 10% rocznego odpływu wód opadowych, więc ulgi byłyby niskie. Należy również podkreślić, że zbiorniki do gromadzenia wód deszczowych mają korzystny wpływ na funkcjonowanie miejskich systemów kanalizacyjnych ograniczając zarówno objętość zrzutu, jak i maksymalne natężenie odpływu [16, 25, 26], co powinno być uwzględniane w ogólnym bilansie opłacalności ich stosowania.

Podsumowanie

- Systemy gromadzenia i wykorzystania wody deszczowej stanowią obiecujące rozwiązanie umożliwiające wzrost niezawodności działania i ograniczenie kosztów funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę.
- W obiektach handlowo-usługowych, sportowych lub przemysłowych woda deszczowa może znaleźć szersze, bardziej zróżnicowane zastosowanie, niż w przypadku budynków mieszkalnych, a przez to opłacalność stosowania systemów służących do jej gromadzenia i wykorzystania jest większa.
- Nawet w przypadku, gdy planowany system nie pozwoli na pokrycie w pełni zapotrzebowania na wodę o niższej jakości, np. ze względu na małą dostępną powierzchnię zbierania wody, może być opłacalny ekonomicznie.
- O ile w przypadku budynków mieszkalnych projektowanie systemu, a w szczególności dobór zbiornika, który jest najbardziej kosztownym elementem, można przeprowadzić przy wykorzystaniu uproszczonych metod, to w wypadku tego typu obiektów warto wykonać bardziej szczegółowe analizy, w oparciu o dane opadowe z rejonu planowanej inwestycji. Uzyskane w ten sposób informacje pomogą ocenić efektywność systemu i ułatwić inwestorom podejmowanie decyzji o wdrażaniu takich rozwiązań.

LITERATURA

[1] Amos C.C., Rahman A., Gathenya J.M. Economic Analysis and Feasibility of Rainwater Harvesting Systems in Urban and Peri-Urban Environments: A Review of the Global Situation with a Special Focus on Australia and Kenya, *Water*, 2016, 8, 149, doi:10.3390/w8040149

[2] Dąbrowski W., Pawłowska-Salach A., Wybrane ekonomiczne aspekty retencjonowania wód deszczowych, *Instal*, 2023, 6, 37-41 doi:10.36119/15.2023.6.6

[3] Freni G., Liuzzo L. Effectiveness of Rainwater Harvesting Systems for Flood Reduction in Residential Urban Areas, *Water*, 2019, 11, 1389; doi:10.3390/w11071389

[4] Friedler E., Gilboa Y., Muklada H. Quality of Roof-Harvested Rainwater as a Function of Environmental and Air Pollution Factors in a Coastal Mediterranean City (Haifa, Israel), *Water*, 2017, 9, 896, doi:10.3390/w9110896

[5] <https://www.gov.pl/web/susza/najnowszy-raport-gus--polska-na-24-miejscu-w-unii-europejskiej-pod-wzgledem-odnawialnych-zasobow-wody-slodkiej>

[6] Kuller M., Dolman N.J., Vreeburg J.H.G., Spiller M. Scenario analysis of rainwater harvesting and use on a large scale – assessment of runoff, storage and economic performance for the case study Amsterdam Airport Schiphol, *Urban Water Journal*, 2017, 14, 3 doi: 10.1080/1573062X.2015. 1086007

[7] Lani N.H.M., Syafuddin A., Yusop Z., Adam U., Mat Amin M.Z. Performance of small and large scales rainwater harvesting systems in commercial buildings under different reliability and future water tariff scenarios, *Science of The Total Environment*, 2018, 636, 15, 1171-1179, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.418>

[8] Lopes V.A.R., Marques G.F., Dornelles F., Medellín-Azuaram J. Performance of rainwater harvesting systems under scenarios of non-potable water demand and roof area typologies using a stochastic approach, *Journal of Cleaner Production*, 2017, 148, 1, 304-313

[9] Matos C., Bentes I., Santos C., Imteaz M., Pereiram S., Economic Analysis of a Rainwater Harvesting System in a Commercial Building, *Water Resour Manage*, 2015, 29:3971–3986, doi: 10.1007/s11269-015-1040-9

[10] Molaei O., Kouchakzadeh M., Fashi F.H., Evaluation of rainwater harvesting performance for water supply in cities with cold and semi-arid climate, *Water Supply*, 2019, 19.5, 1322-1329, doi: 10.2166/ws.2018.193

[11] Moreira Neto M., Carvalho L. de C., Calijuri M.L., Santiago A. de F., Rainwater use in airports: A case study in Brazil, *Resources, Conservation & Recycling*, 2012, 68(C), 36-43, doi: 10.1016/j.resconrec.2012.08.005.

[12] Palla A., Gnecco I., La Barbera, P., The impact of domestic rainwater harvesting systems in storm water runoff mitigation at the urban block scale, *J. Environ. Manag.*, 2017, 191, 297–305.

[13] Pimentel-Rodrigues C., Silva-Afonso A. Rainwater Harvesting for Irrigation of Tennis Courts: A Case Study, *Water*, 2022, 14, 752. <https://doi.org/10.3390/w14050752>.

[14] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, *Dz.U.* 2017 poz. 2294.

[15] Sakson G., Efektywność wykorzystania wody deszczowej w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej, w: *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk*, 2007, vol. 46, ISBN 978-83-89293-66-4, 203-212'

[16] Sakson G., Wykorzystanie wód opadowych w budynkach, *Rynek Instalacyjny*, 2010, 5, 35-38

[17] Sakson G., Cost analysis of a rainwater harvesting system in Poland, *E3S Web of Conferences*, 2018, 45, 00078

[18] Sakson G., Olejnik D., Metale ciężkie w ściekach opadowych odprowadzanych ze zlewni miejskiej jako kryterium możliwości ich zagospodarowania, *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 2013, 3, 135-139

[19] Sazakli E., Alexopoulos A., Leotsinidis M., Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece, *Water Research*, 2007, 41, 2039–2047 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.037>

[20] Snir O., Friedler E. Dual Benefit of Rainwater Harvesting – High Temporal-Resolution Stochastic Modelling, *Water*, 2021, 13, 241. <https://doi.org/10.3390/w13172415>

[21] Struk-Sokołowska J., Gwoździej-Mazur J., Jadwiszczak P., Butarewicz A., Ofman P., Wdowikowski M., Kaźmierczak B. The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, *Water*, 2020, 12, 25, doi:10.3390/w12010252

[22] Suchoarb P., Iwanek M., Efektywność wybranej instalacji dualnej wykorzystującej wody deszczowe w warunkach rzeczywistych opadów, 2021, *Instal*, 12, 41-45 DOI 10.36119/ 15.2021.12.6

[23] Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne *Dz. U.* z 2023 r. poz. 1478.

[24] Vialle C., Sablayrolles C., Lovera M., Jacob S., Huau M.-C., Montréjaud Vignoles, M. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. *Water Research*, 2011. 45 (12), 3765-3775 doi: 10.1016/j.watres.2011.04.029.

[25] Włbig J., Radziun W., Opady atmosferyczne w województwie łódzkim w latach 1961–2015, *Acta Geographica Lodziansia*, 2019, 109, 29-47, doi:10.26485/AGL/2019/109/2.

[26] Zawilski M., Sakson G., Systemy wykorzystywania wody deszczowej i ich wpływ na funkcjonowanie kanalizacji miejskiej, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2004. 9, 298-302.