

Wody opadowe i ścieki szare – potencjał ponownego wykorzystania w budynkach

Rainwater and greywater – the potential for reuse in buildings

Katarzyna Umiejewska^{1*} , Maciej Malarski¹ , Katarzyna Miszta-Kruk¹ , Piotr Hładki¹ ,
Monika Żubrowska-Sudoł¹ 

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska

* Kontakt / Correspondence: katarzyna.umiejewska@pw.edu.pl

Streszczenie:

Prezentowano zagadnienia związane z odzyskiem i ponownym wykorzystaniem wód opadowych i ścieków szarych w budynkach. W pierwszym etapie badań rozpoznano dostępne zasoby wód opadowych i ścieków szarych na podstawie obliczeń bilansowych dla typowego budynku mieszkalnego. Następnie wyznaczono stopień zmieszania tworzący ścieki szare. Drugim etapem badań było określenie rzeczywistej jakości wód opadowych i ścieków szarych. Na tej podstawie zaproponowano układy do ich podczyszczania. Pozwoli to na zastosowanie tych wód do powtórnego wykorzystania w budynkach.

Słowa kluczowe: wody opadowe, ścieki szare, gromadzenie, oczyszczanie, powtarne wykorzystanie

Abstract:

Issues related to the recovery and reuse of rainwater and graywater in buildings were presented. The first stage of the study identified available rainwater and graywater resources based on balance calculations for a typical residential building. On this basis, the actual degree of mixing that creates greywater was obtained. The next stage of the research was to determine the actual quality of rainwater and greywater and to propose systems for their pre-treatment, which will allow this water to be reused in buildings.

Keywords: rainwater, greywater, harvesting, treatment, reuse

1. Wstęp

Całkowite zasoby słodkiej wody dostępne w Polsce są stosunkowo niewielkie i charakteryzują się zmiennością sezonową i regionalną. Wynoszą one około 1600 m³ na osobę rocznie, co jest wartością poniżej poziomu stresu wodnego (1700 m³). W Europie tylko Czechy, Cypr i Malta mają mniejsze zasoby wodne niż Polska [1]. Średnie roczne opady w Warszawie w 2023 r. wyniosły 572,0 mm [2], w porównaniu z 656,2 mm w Polsce [3]. Opady deszczu w Polsce pozwalają na jego gromadzenie, oczyszczanie i ponowne wykorzystanie w gospodarstwach domowych. Zgodnie z polskim prawem, oprócz wykorzystania wody deszczowej (zbieranej np. z dachów) do nawadniania ogrodu, mycia dróg czy chodników możliwe jest również jej magazynowanie w celu ponownego wykorzystania w gospodarstwach domowych np. do spłukiwania toalet, prania i innych podobnych celów. Dostępne badania pokazują, że jakość wody deszczowej zależy między innymi od materiału, z którego wykonany jest dach, jego położenia

i wielkości, stężenia zanieczyszczeń chemicznych w otoczeniu i w wodzie deszczowej, a także pory roku [4]. Wykorzystanie wody opadowej w budynkach wymaga nie tylko odpowiedniej instalacji, ale również ich wstępnego oczyszczenia.

Drugim źródłem wody do ponownego wykorzystania w budynkach mogą być oczyszczone ścieki szare. Procentowy udział możliwych do zagospodarowania ścieków szarych stanowi około 75% ogólnej ilości ścieków z budynku [5]. Aby było to możliwe konieczne jest wykonanie dualnej instalacji zasilającej – osobno do wody przeznaczonej do spożycia i osobno do wody opadowej/ścieków szarych oraz systemu gromadzenia i oczyszczania.

Zarówno wody opadowe oraz oczyszczone ścieki szare stanowią alternatywne źródło wody w stosunku do wody pobieranej z sieci wodociągowej lub z ujęć lokalnych. Ich wykorzystanie pozwala na ograniczenie zużycia zasobów pierwotnych (wody powierzchniowe oraz wody podziemne) wpisując się w wyzwania zrównoważonej gospodarki wodnej. Przyczynia się również do zamykania obiegu wody w budynkach, stanowiąc istotny

element gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze budownictwem i wodociągowo-kanalizacyjnym. Potencjał wód opadowych i ścieków szarych stanowi podwaliny projektu badawczo-rozwojowego, którego celem jest opracowanie systemu gromadzenia oraz oczyszczania wód opadowych, roztopowych i ścieków szarych (HYDROSTRATEG-II/0020/2023). W artykule przedstawiono pierwsze etapy badawcze przedmiotowego projektu obejmujące:

- koncepcję oszacowania ilości wód opadowych i ścieków szarych oraz wielkości zbiornika do ich gromadzenia,
- analizę charakterystyki fizyko-chemicznej wód opadowych oraz ścieków szarych.

2. Oszacowanie ilości wód opadowych i wielkości zbiornika do ich gromadzenia

Zgodnie z polskimi przepisami, wody opadowe mogą być gromadzone w zbiornikach. Oszacowanie wielkości zbiornika wód opadowych i roztopowych, który przejmie cały opad w roku, należy wykonać na podstawie identyfikacji rzeczywistej ilości wód opadowych i roztopowych. W tym celu konieczna jest informacja dotycząca wielkości opadu, powierzchni, z której zbierano opad oraz zapotrzebowania na wodę. Do określenia wielkości opadu, można skorzystać z pakietu cyfrowych informacji o natężeniach deszczów miarodajnych – Polski Atlas Natężeń Deszczów – PANDa oraz ogólnodostępnych map klimatycznych Polski opracowanych przez IMGW – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB). Dla obszaru Polski i wielolecia (1991–2020) uzyskano dane dotyczące rocznych sum opadów atmosferycznych. Tym sposobem powierzchnię kraju podzielono na rejony z określoną wielkością opadu wieloletniego, co pozwoliło na obliczenie pojemności zbiornika dla dowolnie zlokalizowanej inwestycji na terenie Polski.

Kolejnym etapem było określenie wielkości spływu z powierzchni dachu. W tym celu przeanalizowano metodologię obliczania wielkości spływu wody opadowej zawartą w normie [6]. Metodyka ta, została skonfrontowana z pomiarami rzeczywistej ilości uzyskanej wody opadowej w czasie trwania deszczy, na 7 wybranych dachach o znanej powierzchni. Obliczenia modelowe przeprowadzono uwzględniając 12 najczęściej występujących kształtów dachu wraz z elementami towarzyszącymi. Wielkości współczynników spływu przyjęto zgodnie z normą PN-92 B-01707 [7]. Z uwagi na zmienności opadów w zależności od lokalizacji inwestycji oraz różne konstrukcje i materiały pokrycia dachu (mające wpływ na obliczeniową powierzchnię dachu), stworzono zależności, które pozwalają na dobór odpowiedniej kubatury zbiornika na wody opadowe. Założono również, że wody opadowe będą przede wszystkim przeznaczone na cel spłukiwania misek ustępowych, co w rezultacie ma zapewnić redukcję zużycia wody wodociągowej przynajmniej o 20%. Pozostała objętość zgromadzonej wody opadowej i roztopowej, będzie mogła posłużyć na inne cele np. podlewanie zieleni. Rezultatem analiz było stworzenie nomogramu doboru zbiornika wód opadowych przy uwzględnieniu: powierzchni dachu, opadu średniorocznego oraz wymaganego zapotrzebowania na wodę uzależnionego od ilości użytkowników. Zagadnienie to będzie omówione w kolejnym artykule.

3. Oszacowanie ilości ścieków szarych i wielkości zbiornika do ich gromadzenia

W celu określenia wymaganej pojemności zbiornika ścieków szarych przeprowadzono analizę średniego zużycia oraz zapotrzebowania wody na cele bytowe w Polsce. Zgodnie z zapisami Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody [8], średnie jednostkowe dobowe zapotrzebowanie na wodę w budynkach mieszkalnych zależy jest od wyposażenia lokali w urządzenia i zawiera się w przedziale $80\text{--}100\text{ dm}^3/(\text{M}\cdot\text{d})$ dla budynków z lokalnym systemem przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz $140\text{--}160\text{ dm}^3/(\text{M}\cdot\text{d})$ dla budynków podłączonych do zbiorowego systemu ciepłowniczego. Na podstawie zapisów Rozporządzenia [9] oraz danych zaczerpniętych z literatury przyjęto średnie zapotrzebowanie na wodę w ilości $120\text{ dm}^3/(\text{M}\cdot\text{d})$. W celu rozpoznania dostępnych zasobów ścieków szarych przeprowadzono obliczenia bilansowe jednostkowej produkcji tych ścieków dla typowego budynku mieszkalnego w rozróżnieniu na urządzenia sanitarne (pralka, umywalka, wanna/prysznic). Analizując strukturę zużycia wody w gospodarstwach domowych zaprezentowaną np. przez Chudzieckiego [5] stwierdzono, że udział ścieków szarych wynosi 75,1% w całkowitej ilości ścieków. Struktura ścieków szarych przedstawia się następująco: ścieki z umywalki 8,3%, ścieki z wanny 54% i ścieki z prania 12,8%. Na spłukiwanie misek ustępowych wykorzystywane jest 20% ogólnego zużycia wody, tak więc oczyszczalne ścieki szare z powodzeniem mogą pokryć zapotrzebowanie na wodę do spłukiwania misek ustępowych.

4. Jakość wód opadowych

Jakość zebranej wody opadowej jest bardzo zmienna i zależy od rodzaju materiału z jakiego wykonano dach [9]. Poza rodzajem materiału, jakość gromadzonych z dachu wód opadowych zależy również od intensywności opadu, lokalizacji i wymiaru dachu, okresu roku, czasu trwania okresów suszy oraz ilość zanieczyszczeń wychwyconych z atmosfery lub wypłukanych z powierzchni zlewni [10]. Eksperymenty dla wód opadowych przeprowadzono dla strumieni zbieranych niezależnie z 7. dachów. Były to dachy: ceramiczny, ceramiczny z panelami PV, metalowy, blaszany, bitumiczny, z tworzywa PVC zlokalizowane w Warszawie i jej okolicach. Zakres analityczny obejmował określenie wartości następujących wskaźników: pH, przewodnictwo elektrolityczne, kwasowość ogólna, zasadowość ogólna barwa, mętność, chlorki, siarczany, żelazo ogólne, azotany (V), azotany (III), jon amonowy, utlenialność, ChZT, BZT₅, OWO, UV, ortofosforany, zawiesina ogólna. Przeprowadzono analizy jakości wód opadowych zebranych z różnych lokalizacji i różnych dachów. Wyniki jakości wody opadowej zebrane w Tabeli 1 potwierdziły wpływ lokalizacji i materiału, z którego wykonany jest dach na jakość zbieranej wody opadowej. Najwyższą zawartością związków organicznych (ChZT, utlenialność) oraz barwą cechowała się woda opadowa pobrana w Warszawie, na Białołęce. Należy jednak zauważyć, że na jakość wód nie wpływa jedynie lokalizacja, ponieważ wody opadowe z dachów zlokalizowanych w Józefowie miały zmienną zawartość związków organicznych. Najlepszej jakości wodę zgromadzono z dachu metalowego zlokalizowanego w Józefowie. Pobrano również wody opadowe z trzech różnych dachów

Tabela 1. Jakość wód opadowych w zależności od lokalizacji i materiału dachu
Table 1. Rainwater quality depending on location and roof material

Lokalizacja	Materiał dachu	pH	Przewodnictwo [μS/cm]	Barwa [mg/l]	Mętność [NTU]	Utlonialność [mg/l]	NO ₂ [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	NH ₄ [mg/l]	ChZT [mg/l]
Warszawa Białoleka	Ceramiczny	5,94	87,74	118,00	5,94	8,00	0,05	0,70	0,96	28,50
Słpsk gm. Zabrodzie	Ceramiczny z panelami PV	6,04	32,10	112,00	8,11	7,20	0,02	0,20	0,67	25,50
Słpsk gm. Zabrodzie	Metalowy	5,82	35,31	69,00	4,17	7,36	0,01	0,38	1,20	22,20
Słpsk gm. Zabrodzie	Tworzywo PVC	5,85	26,75	75,00	5,34	6,40	0,01	0,29	1,26	18,90
Warszawa Józefów	Metalowy	6,18	50,29	37,00	2,48	2,40	0,02	0,40	0,47	6,76
Warszawa Józefów	Bitumiczny	6,51	54,57	50,00	3,88	4,64	0,02	0,28	0,54	17,60

Tabela 2. Wybrane wskaźniki jakości ścieków z wanny, umywalki, pralki i strumienia zmieszanego
Table 2. Selected quality parameters of wastewater from bathtubs, washbasins, washing machines and mixed flows

Miejsce poboru	pH	Przewodnictwo [μS/cm]	Mętność [NTU]	Utlonialność [mg/l]	BZT ₅ [mg/l]	ChZT [mg/l]	UV [cm ⁻¹]
Wanna	7,48	633	5,86	7,04	17,5	32,8	0,091
Umywalka	7,15	1081	54	28,4	98,7	286	0,363
Pralka	8,91	2260	705	188	609,8	2077	0,697
Ścieki zmieszane	7,72	948	85,4	33,6	–	–	0,219

zlokalizowanych w miejscowości Słpsk (ceramiczny z panelami PV, metalowy i dach z tworzywa PVC). Wody te znacząco różniły się jakością.

Z uwagi na jakość gromadzonych wód opadowych poddano je wstępnemu oczyszczaniu w procesach filtracji. Filtrację prowadzono z prędkością 5 m/h dla 5. różnych wypełnień: filtry włókninowe o wymiarach 1, 20 i 50 μm piasek 0,8–1,4 mm; antracyt 0,25–4 mm. Celem filtracji było przede wszystkim usunięcie z wody zawiesiny ogólnej i mętności. Wartości tych wskaźników, po filtracji, niezależnie od pochodzenia wody opadowej były mniejsze od odpowiednio: 15 mg/l i 10 NTU.

5. Jakość ścieków szarych

Jakość surowych ścieków szarych oceniano poprzez określenie wartości następujących wskaźników: pH, przewodnictwo elektrolityczne, kwasowość ogólna, zasadowość ogólna barwa, mętność, chlorki, siarczany, żelazo ogólne, azotany (V), azotany (III), jon amonowy, utlenialność, ChZT, BZT₅, OWO, UV, ortofosforany, zawiesina ogólna. Przeprowadzone badania jakości trzydziestu prób, wykazały, że skład ścieków szarych jest bardzo zmienny. W tabeli 2 przedstawiono wyniki przykładowej serii badawczej obejmującej strumienie ścieków z wanny, umywalki i pralki oraz strumienia zmieszanego.

Analiza jakości fizyko-chemicznej ścieków szarych wskazuje, że wymagają one procesów oczyszczania przed ich powtórny wykorzystaniem w budynkach. Zastosowano procesy: filtracji, koagulacji objętościowej i dezynfekcji.

Filtrację ścieków szarych prowadzono przy prędkości 5 m/h dla 9 różnych wypełnień filtrów: siatkowe o wymiarach 50, 100, 150 μm; sznurkowe 20, 50, 100 μm; włókninowe 20, 50 μm; piasek 0,8–1,4 mm. Dla strumieni ścieków szarych przeprowadzono 30 eksperymentów filtracji. Proces filtracji nie dawał zadowalających

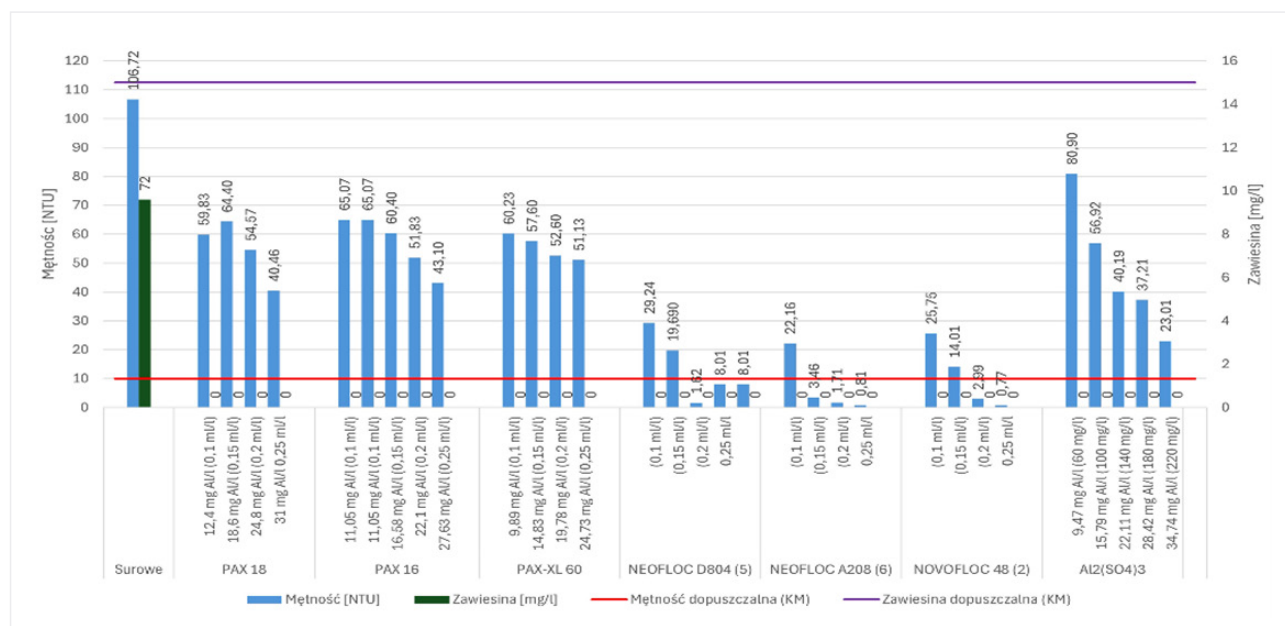
rezultatów. Jest on jednak istotny, gdyż pozwala na wstępne oczyszczenie ścieków szarych przed kolejnymi procesami technologicznymi. Dodatkowo przeprowadzono eksperymenty mające na celu porównanie różnych wypełnień pod kątem ich efektywnego czasu pracy. Na ich podstawie wytypowano filtr sznurkowy i piaskowy jako etap wstępnego podczyszczania przed koagulacją objętościową i dezynfekcją (zapewniając zarówno redukcję wskaźników zanieczyszczeń, oraz pozwalając na dłuższy czas pracy).

Badania nad procesem koagulacji objętościowej rozpoczęto od sprawdzenia skuteczności działania 20 koagulantów. W eksperymentach analizowano różne dawki koagulantów oraz różne czasy trwania szybkiego i wolnego mieszania. Na ich podstawie wybrano 7 koagulantów, dla których przeprowadzono po 3 eksperymenty dla dawek w zakresie 0,1–0,25 ml/l. Po procesie koagulacji objętościowej realizowano proces sedymentacji (t=10 min) oraz filtracji pospiesznej (v=5 m/h). Zmniejszenie mętności i stężenia zawiesiny poniżej wartości odpowiednio 15 mg/l i 10 NTU uzyskano dla 3 koagulantów (Rys.1).

Na podstawie przeprowadzonych badań wyciągnięto wniosek, że proces koagulacji objętościowej powinien być jednym z procesów jednostkowych przed procesem dezynfekcji. Szczegółowe omówienie wyników prac badawczych nad oczyszczaniem ścieków szarych będzie przedmiotem kolejnego artykułu.

6. Podsumowanie

Pierwszy etap realizacji projektu potwierdził wysoki potencjał wód opadowych oraz ścieków szarych jako alternatywnych źródeł wody w budynkach. Wykazano, że modelowanie matematyczne daje możliwość wiarygodnej predykcji z jednej strony ich ilości, z drugiej zapotrzebowania na wodę z uwzględnieniem różnego sposobu jej wykorzystania. Na podstawie wyników analizy



Rys. 1. Mętność i zawiesina ścieków szarych przed i po koagulacji

Fig. 1. Turbidity and suspended solids in grey wastewater before and after coagulation

fizyko-chemicznej wytypowano jednostkowe procesy oczyszczania, które będą weryfikowane empirycznie, oraz zaplanowano eksperymenty mające na celu określenie wpływu gromadzenia wód opadowych oraz ścieków szarych na ich jakość. Dalsze prace badawcze obejmować będą również: i) porównanie efektywności różnych metod dezynfekcji (chlorowanie przy wykorzystaniu chlorynu I sodu, ozonowanie i promieniowanie UV), ii) porównanie podatności różnych strumieni ścieków szarych na rozkład biologiczny oraz iii) monitoring zawartości mikroplastików w ściekach szarych oraz wodach opadowych.

Rezultatem projektu będzie opracowanie systemu gromadzenia i oczyszczania wód opadowych, roztopowych i ścieków szarych, charakteryzującego się prostotą, łatwością obsługi a zarazem wysoką niezawodnością.

Badania realizowano w ramach projektu HYDROSTRATEG-II/0020/2023 Innowacyjny system gromadzenia wód opadowych, roztopowych i ścieków szarych wraz z procesami ich oczyszczania (ISGWORS).

7. Bibliografia

- [1] Polska na drodze zrównoważonego rozwoju. Raport 2020. (2020). Główny Urząd Statystyczny. Dostęp online <https://raportsdg.stat.gov.pl/2020/cel6.html>
- [2] VarsoviaKlimat. Charakterystyka wybranych elementów klimatu w Warszawie w 2023 roku. Dostęp online: <https://varsoviaklimat.pl/?p=1369>
- [3] IMGW – Państwowy Instytut Badawczy. Charakterystyka wybranych elementów klimatu w Polsce w 2023 roku – podsumowanie. Dostęp online: <https://archiwum.imgw.pl/wydarzenia/charakterystyka-wybranych-elementow-klimatu-w-polsce-w-2023-roku-podsumowanie>
- [4] Mazurkiewicz, K., Jeż-Walkowiak, J., & Michałkiewicz, M. (2022). Physicochemical and microbiological quality of rainwater harvested in underground retention tanks. *Science of the Total Environment*, 814, 152701. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152701>
- [5] Chudzicki, J., & Sosnowski, S. (2009). *Instalacje wodociągowe, projektowanie, wykonanie, eksploatacja*. Wydawnictwo Seidel-Przywecki.
- [6] PN-EN 12056-3:2002. Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków. (2002).
- [7] Polski Komitet Normalizacyjny. PN-92 B-01707. Instalacje kanalizacyjne. (1992). Polski Komitet Normalizacyjny.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody. (2002). *Dziennik Ustaw*, Nr 8, poz. 70.
- [9] Lee, J. Y., Bak, G., & Han, M. (2012). Quality of roof-harvested rainwater—comparison of different roofing materials. *Environmental Pollution*, 162, 422–429. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.005>
- [10] Hamilton, K. A., Parrish, K., Ahmed, W., & Haas, C. N. (2018). Assessment of water quality in roof-harvested rainwater barrels in greater Philadelphia. *Water*, 10(11), 92. <https://doi.org/10.3390/w10020092>