

Zmniejszenie zużycia wody wodociągowej poprzez wykorzystanie instalacji wody szarej w budynku zamieszkania zbiorowego – analiza ekonomiczna

The reduction of tap water consumption through the use of grey water installations in a collective residence building – economic analysis

EWA BADOWSKA, DAWID BANDZIERZ, JULITTA PIZIAK

DOI 10.36119/15.2023.12.9

Istnieją dwa główne sposoby zmniejszenia zużycia wody wodociągowej w budynkach, wykorzystanie ścieków szarych lub wód opadowych na część potrzeb budynku i jego użytkowników. W niniejszej publikacji przedstawiona zostanie analiza możliwości wykorzystania systemu gromadzenia i podczyszczania ścieków szarych w budynku zamieszkania zbiorowego – akademika zamieszkiwanego przez 195 osób.

Głównym celem przedstawionej w artykule modernizacji było zaprojektowanie w istniejącym budynku dualnej instalacji wodno – kanalizacyjnej uzupełniającej istniejącą instalację o piony kanalizacyjne zbierające wodę z umywalk oraz natrysków oraz instalację wodociągową zasilającą wodą szarą spłuczki toalet i pisuarów w budynku zamieszkania zbiorowego – Domu Studenta nr 1 znajdujący się przy Alei Politechniki 3b w Łodzi wraz ze sporządzeniem kosztorysu instalacji.

Analizę oparto o rzeczywiste zużycie wody wodociągowej w Domu Studenta, przeanalizowano koszty użytkowania obiektu w odniesieniu do opłat za wodę wodociągową i ścieki oraz koszty energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: ścieki szare, budynek zamieszkania zbiorowego, analiza ekonomiczna

There are two main ways to reduce the consumption of tap water in buildings, usage of gray sewage or rainwater, for part of the needs of the building and its users. This publication presents an analysis of the possibilities for using a gray sewage collection and pre-treatment system in a collective housing building – a dormitory inhabited by 195 people.

The main goal of the modernization presented in the publication was to design a dual water and sewage installation in the existing building, which supplements the existing installation with sewage risers collecting water from washbasins and showers, and a water supply installation supplying gray water to the flush toilets and urinals in the collective residence building – Student Dormitory No. 1 located at Alei Politechniki 3b in Łódź, along with preparing a cost estimate of the installation.

The analysis was based on the actual consumption of tap water in the Student Dormitory, and the costs of using the facility were analyzed in relation to fees for tap water and sewage, as well as the costs of electricity.

Keywords: gray water, collective housing building, economic analysis

Wstęp

Szara woda – „ścieki szare, pochodzące z kuchni, pralni i łazienek. Zanieczyszczone głównie detergentami, nie zawierające moczu ani fekalii” [1]. Są to zatem ścieki bytowo-gospodarskie powstałe podczas zmywania naczyń, prania oraz kąpieli. Natomiast ścieki fekalne – czarne pocho-

dzące z ustępów wyposażonych w spłuczki trafiają bezpośrednio do kanalizacji.

Szarą wodą w niniejszej publikacji nazywa się szare ścieki po oczyszczeniu, natomiast jako ścieki szare rozumie się ścieki pochodzące z umywalk i natrysków przed procesem oczyszczania. Ze ścieków szarych po oczyszczeniu uzyskuje się szarą wodę.

Cel wykorzystania

Ilość powstałych ścieków szarych jest uzależniona od ilości zużycia wody wodociągowej, a to z kolei zależy od standardu wyposażenia sanitarnego budynku. Recykling szarych ścieków jest możliwy w wypadku zużycia większych lub równych ilości wody wodociągowej na cele

dr inż. Ewa Badowska, <https://orcid.org/0000-0003-0423-3912> ewa.badowska@p.lodz.pl, dr inż. Dawid Bandzierz, <https://orcid.org/0000-0003-4727-137X>. Adres do korespondencji/ Corresponding author: dawid.bandzierz@p.lodz.pl – Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, Politechnika Łódzka;

inż. Julitta Piziak – Wydział Architektury, Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Łódzka

The diagram illustrates a wastewater management system within a residential building. It shows the flow of water from various sources (tap water, rainwater) through different rooms (bathroom, kitchen) and treatment stages (UF, S, UV-FM) before being discharged or reused. Labels include: WODA PITNA, WODA DESZCZOWA, Łazienka, Pokój, SZARA WODA, Woda do podlewania zieleni, Kuchnia, and CZARNE ŚCIEKI.

Charakterystyka zanieczyszczeń ścieków szarych

- barwę
- mętność
- zapach
- temperaturę
- gęstość
- przewodnictwo właściwe

Parametry chemiczne to:

- odczyn pH
- zasadowość
- zanieczyszczenia biogenne
- BZT_5
- $ChZT$
- OWO

Metoda i stopień oczyszczania ścieków będą uzależnione od jakości ścieków oraz od tego w jakim celu powtórnie będą wykorzystywane. Podstawowym sposobem ich oczyszczania jest filtrowanie. Filtrowanie siatkowe, polipropylenowe zatrzymuje zanieczyszczenia stałe ograniczając mętność oraz zawartość zawieszin, ogranicza się powstawanie osadów wewnątrz instalacji i urządzeń, instalacja nie będzie „zarastać”. W przypadku magazynowania szarych ścieków w zbiorniku, aby zapobiec zagniwaniu ścieków i powstawania przy tym uciążliwych zapachów, ścieki należy napowietrzać. Ze względu na niskie stężenia azotu i fosforu,

Rys. 1.
Schemat instalacji recyklingu szarych ścieków [27]
Fig. 1. Scheme of the gray sewage recycling installation [27]

oczyszczanie biologicznie powinno być wspomagane dawkowaniem związków biogennych, które wspomogą pracę bakterii. Podczyszczane ścieki należy zawsze zdezynfekować np. chlorem z powodu występowania bakterii fekalnych, aby zapobiec zainfekowaniu w trakcie eksploatacji. Zazwyczaj instalacje z recyklingiem szarej wody stosuje się w obiektach użyteczności publicznej, dlatego bardzo ważne jest, aby dążyć w takich obiektach do jak najlepszych parametrów wody, która ma zostać ponownie wykorzystana. Ma to zapewnić bezpieczeństwo oraz komfort wszystkich osób korzystających z budynku [8].

Oczyszczanie w bioreaktorach

Aby uzyskać satysfakcjonujące rezultaty oczyszczania należy skorzystać z innowacyjnych bioreaktorów i filtrów membranowych. Ich praca opiera się na procesach biologicznego oczyszczania szarych ścieków, które przebiegają kolejno w poszczególnych zbiornikach. Części stałe osiadają na dnie zbiornika podczas sedimentacji, kolejnym etapem jest biologiczne oczyszczanie, ścieki zostają napowietrzone w celu degradacji składników organicznych. Następnie podczas filtracji membranowej w systemie MBR zachodzi kompletna dezynfekcja. Oczyszczona szara woda jest doprowadzana do zbiornika magazynującego, gdzie powinna być magazynowana do 24h, czas powinien być na tyle krótki, aby nie doszło do zagniwania [9, 10].

Instalacja do odzysku szarej wody

Wykorzystanie instalacji do odzysku szarej wody praktycznie jest możliwe w budynkach jednorodzinnych [11, 12, 13], wielorodzinnych [14, 15, 16], obiektach użyteczności publicznej, w tym w szkołach [15, 16, 17, 18, 19,], hotelach [15, 16, 20, 21, 22, 23]. Tylko w kilku krajach Europy, istnieją przepisy regulujące możliwość projektowania i wykorzystania instalacji szarej wody. Brak uregulowań prawnych w Polsce w tym temacie przysparza wielu problemów dla projektantów instalacji sanitarnych. Brak odpowiedniej literatury technicznej, przepisów, zaleceń oraz norm skłania inżynierów do inspirowania się zaleceniami z anglojęzycznych dokumentów. Istniejące instalacje są poddawane analizie, jak np. sprawozdanie z 10 letniego okresu użytkowania instalacji w wielokondygnacyjnym budynku w Berlinie [14].

W celu przeprowadzenia analizy ekonomicznej opłacalności eksploatacji instalacji wody szarej przeanalizowano koszty modernizacji Domu Studenta w Łodzi polegające na budowie instalacji dualnej wod-

no-kanalizacyjnej (dodatkowe piony kanalizacyjne oraz wodociągowe) oraz systemu gromadzenia i podczyszczania szarych ścieków. Dane do modernizacji pozyskano z projektów archiwalnych instalacji wodociągowych i kanalizacyjnych dla przedmiotowego budynku, inwentaryzacji oraz udostępnionych do wglądu rachunków za wodę i ścieki. Analizę oparto o ceny wody w Łodzi w latach 2018-2023 [24, 25, 26]. Ceny modernizacji instalacji pochodzą z roku 2019.

Charakterystyka budowlano-instalacyjna analizowanego obiektu

Parametry obiektu

- Budynek mieszkalny, podpiwniczony, zlokalizowany przy ul. Aleja Politechniki 3B w Łodzi,
- Liczba kondygnacji nadziemnych: 9,
- Liczba zamieszkujących studentów: 195,
- Liczba pracowników: 5,

Parametry sieci i instalacji wodociągowej

Woda doprowadzana jest do budynku z miejskiej sieci wodociągowej.

Doprowadzenie zimnej wody z istniejącego przyłącza, przewodem o średnicy 100 mm, ciśnienie dyspozycyjne 0,5-0,6 MPa.

Woda jest doprowadzana do istniejących:

- Baterii umywalkowych – 126 szt.
 - Baterii zlewozmywakowych – 29 szt.
 - Natrysków – 108 szt.
 - Pralek – 4 szt.
 - Pisuarów – 4 szt.
- oraz do projektowanego:
- Zbiornika magazynującego ścieki szare (zasilać będzie 120 szt. spłuczek misek ustępowych oraz 4 szt. spłuczek pisuarów) – 1 kpl.

Dobowa ilość uzyskiwanych szarych ścieków

Wzór do dokładnego wyznaczania dobowego uzysku ścieków szarych [28]:

$$Y_G = n \cdot [S \cdot U_S + (H_{WB} \cdot U_{HNB}) + F_{WB}] \quad [\text{dm}^3]$$

gdzie:

- n – liczba osób, przyjęto 195 studentów oraz 5 pracowników;
- S – średni wypływ wody z natrysku, l/min, przyjęto 18 l/min;
- U_S – współczynnik użytkowania samych natrysku wynoszący 5,6;

H_{WB} – maksymalne natężenie wypływu z baterii umywalkowej, przyjęto 8,4 l/min;

U_{HNB} – współczynnik użytkowania umywalki wynoszący 1,58;

F_{WB} – stały wypływ z baterii używany do napełnienia umywalki wynoszący 1,58 l.

Wzór dostosowano do wymogów budynku, w którym nie ma wanien, a odzysk szarych ścieków nie jest przewidziany z pralek.

$$Y_G = 200 \cdot [18 \cdot 5,60 + (8,40 \cdot 1,58) + 1,58] \quad [\text{dm}^3]$$

$$Y_G = 22626,40 \quad \text{dm}^3$$

$$Y_G = 22,63 \quad \text{dm}^3$$

Dobowa ilość zapotrzebowania na wodę szarą

Wzór do wyznaczania dobowego zapotrzebowania na wodę szarą [28]:

$$C = n \cdot [V_{WC} \cdot U_{SF} + (V_{FWC} \cdot U_{FF}) + V_{PWC} \cdot U_{PF}] \quad [\text{dm}^3]$$

gdzie:

- n – liczba osób, przyjęto 195 studentów oraz 5 pracowników;
- V_{WC} – objętość spłukania toalet z pojedynczym systemem spłukiwania, przyjęto 6 l;
- U_{SF} – współczynnik użytkowania toalety z pojedynczym syst. spłukiwania: 4,42;
- V_{FWC} – pełna objętość spłukania dla toalet z podwójnym systemem spłukiwania, l;
- U_{FF} – współczynnik użytkowania trybu pełnego spłukiwania toalety z podwójnym systemem spłukiwania: 1,46;
- V_{PWC} – częściowa objętość spłukania toalety z systemem podwójnego spłukiwania, l;
- U_{PF} – współczynnik użytkowania trybu częściowego spłukiwania toalety z podwójnym systemem spłukiwania, 2,96.

$$C = 200 \cdot [6 \cdot 4,42 + (6 \cdot 1,46) + 3 \cdot 2,96] \quad [\text{dm}^3]$$

$$Y_G = 8832 \quad \text{dm}^3$$

$$Y_G = 8,80 \quad \text{dm}^3$$

Wzór dostosowano do wymogów budynku, w którym odzysk szarej wody nie jest przewidziany z pralek.

Na podstawie uzyskanych wyników, dobrano urządzenie niemieckiej firmy Greenlined, Greywater-recycling-system

GW1 10.2-10.000 o wydajności 10 000 dm³/d (do celów kosztorysowych). System wykorzystuje reaktory biologiczne MBR oraz filtry membranowe.

Analiza ekonomiczna inwestycji

W celu określenia zasadności zastosowania systemu do recyklingu szarych ścieków wykonano uproszczony kosztorys. Analiza obejmowała koszty związane z:

- przebudowę istniejącej instalacji wodno-kanalizacyjnej,
- wykonanie dodatkowej instalacji wody użytkowej oraz kanalizacji szarych ścieków,
- zakup oraz montaż systemu recyklingu szarych ścieków.

Na podstawie sporządzonego projektu wykonawczego przebudowy wewnętrznych instalacji wodnych i kanalizacyjnych oraz dobranej instalacji na podstawie Katalogów Nakładów Rzeczowych sporządzono kosztorysy w oparciu o cenniki z 2019 roku. Zestawienie kosztów przedstawiono poniżej:

Tabela 1. Przewidywana suma kosztów modernizacji
Table 1. Estimated total modernization costs

RODZAJ KOSZTÓW	Koszt [zł]
Instalacja kanalizacji szarych ścieków	70 733,59
Instalacja wody szarej	88 503,83
System do recyklingu szarych ścieków	198 000,00
SUMA	347 237,42

Roczne rzeczywiste koszty dostawy wody oraz odprowadzenia ścieków

W tabeli przedstawiono rzeczywiste (dane pochodzą z Działu Infrastruktury technicznej Pł) wartości zużycia wody wodociągowej w DS1 wraz ze stawką za m³ wody wraz z odprowadzeniem ścieków według cennika ZWiK Łódź, obejmujące rok 2019.

Przy obliczaniu spodziewanych kosztów, przyjęto maksymalną wydajność systemu oczyszczania szarych ścieków, która wynosi 10 m³/dzień. W ciągu roku wydajność ta wynosi 3650 m³. Na miesiąc przyjęto średnio 304 m³ oczyszczonych ście-

Tabela 2. Cena za 1 m³ wody

Table 2. Price for 1 m³ of water

			Rok 1 (od 13.06.2018 r. do 12.06.2019 r.)		Rok 2 (od 13.06.2019 r. do 12.06.2020 r.)		Rok 3 (od 13.06.2020 r. do 12.06.2023 r.)	
Lp.	Taryfowa grupa odbiorców	Jedn.	cena netto	cena brutto	cena netto	cena brutto	cena netto	cena brutto
1	Wszyscy odbiorcy	zł/m ³	4,00	4,32	4,09	4,42	4,18	4,51

Tabela 3. Cena za 1 m³ ścieków

Table 3. Price per 1 m³ of sewage

			Rok 1 (od 13.06.2018 r. do 12.06.2019 r.)		Rok 2 (od 13.06.2019 r. do 12.06.2020 r.)		Rok 3 (od 13.06.2020 r. do 12.06.2023 r.)	
Lp.	Taryfowa grupa dostawców	Jedn.	cena netto	cena brutto	cena netto	cena brutto	cena netto	cena brutto
1	Grupa I	zł/m ³	4,13	4,46	4,08	4,41	4,06	4,38

Tabela 4. Rzeczywiste wartości oraz koszty zużycia wody wodociągowej w DS1 2019 roku

Table 4. Actual values and costs of tap water consumption in DS1 2019

Miesiąc	Ilość zużycia wody bez instalacji recyklingu szarych ścieków, m ³	Cena [m ³ /zł]	Cena za miesiąc, zł
Styczeń	918	8,78	8060,04
Luty	717	8,78	6295,26
Marzec	750	8,78	6585,00
Kwiecień	779	8,78	6839,62
Maj	827	8,78	7261,06
Czerwiec	753	8,83	6648,99
Lipiec	709	8,83	6260,47
Sierpień	902	8,83	7964,66
Wrzesień	582	8,83	5139,06
Październik	664	8,83	5863,12
Listopad	553	8,83	4882,99
Grudzień	798	8,83	7046,34
Suma	8952		846,61

ków. Odjęto tę wartość jako oszczędzoną wodę, od ilości zużycia wody bez instalacji recyklingu szarych ścieków w każdym miesiącu. Przyjęto cennik obowiązujący od 13.06.2018 r. do 12.06.2019 r. oraz 13.06.2019 r. do 12.06.2020 r.

- Różnica między rocznymi opłatami za wodę i odprowadzanie ścieków bez systemu recyklingu szarych ścieków oraz z instalacją szarych ścieków

Tabela 5. Rzeczywiste wartości oraz koszty zużycia wody wodociągowej w DS1 z zastosowaniem instalacji recyklingu szarych ścieków

Table 5. Actual values and costs of tap water consumption in DS1 using the gray sewage recycling installation

Miesiąc	Ilość zużycia wody bez instalacji recyklingu szarych ścieków, m ³	Ilość zużycia wody z instalacją recyklingu szarych ścieków, m ³	Cena za m ³ , zł	Cena za miesiąc, zł
Styczeń	918,00	614,00	8,78	5390,92
Luty	717,00	413,00	8,78	3626,14
Marzec	750,00	446,00	8,78	3915,88
Kwiecień	779,00	475,00	8,78	4170,50
Maj	827,00	523,00	8,78	4591,94
Czerwiec	753,00	449,00	8,83	3964,67
Lipiec	709,00	405,00	8,83	3576,15
Sierpień	902,00	598,00	8,83	5280,34
Wrzesień	582,00	278,00	8,83	2454,74
Październik	664,00	360,00	8,83	3178,80
Listopad	553,00	249,00	8,83	2198,67
Grudzień	798,00	494,00	8,83	4362,02
Suma	8952,00	5304,00		46710,77

$$78\,846,61 - 46\,710,77 = 32\,135,84 \text{ złotych}$$

Zakładając, że system recyklingu szarych ścieków w budynku byłby zastosowany w 2019 r., można było zaoszczędzić 32 135,84 zł.

- Procent zmniejszenia poboru i kosztów wody

$$100\% - \frac{5304,00}{8952,00} \cdot 100\% \approx 41\%$$

Koszty eksploatacji urządzenia

Koszty eksploatacji wiążą się z corocznym przeglądem urządzenia oczyszczającego szare ścieki oraz zużyciem energii elektrycznej. Według danych od producenta moc urządzenia wynosi 3kW oraz należy poddawać je usłudze konserwacji raz w roku, która kosztuje 4950 zł (na podstawie danych dostarczonych przez producenta). Za pomocą kalkulatora zużycia energii elektrycznej. [29] obliczono roczny pobór oraz koszt energii elektrycznej. W 2019 r. średnia cena 1kWh dla DS1 wynosiła 0,49 zł., taką kwotę przyjęto jako cenę 1 kWh. Przyjęto, że urządzenie działa 18 godzin na dobę.

Uzyskane wartości zużycia oraz kosztów energii elektrycznej porównano z rzeczywistymi poborami oraz kosztami energii

w Domu Studenta nr 1 w 2019 r. Średni pobór dla całego budynku miesięcznie wynosił 13 770 kWh, a miesięczny koszt 6698,43 zł.

Tabela 6. Koszty rocznej eksploatacji urządzenia

Table 6. Costs of annual operation of the device

Koszty rocznej eksploatacji urządzenia	Koszt
Przegląd i płukanie filtrów	4950,00
Pobór energii elektrycznej	9657,90
Suma	14607,90

Okres zwrotu inwestycji

Do oceny opłacalności ekonomicznej inwestycji wykorzystano metodę SPBT [30,31] (Simply Pay Back Time) – prosty okres zwrotu nakładów.

$$SPBT = \frac{I}{Z}$$

gdzie:

I – nakład inwestycyjny, zł
Z – roczna oszczędność, zł

Uwzględniając tylko nakłady inwestycyjne, w których skład wchodzi koszt budowy instalacji oraz zakup urządzenia do recyklingu szarych ścieków, czas zwrotu wyniósłby wówczas:

$$SPBT = \frac{317237,42}{32135,84}$$

$$SPBT \cong 10 \text{ lat}$$

10 lat to okres zwrotu poniesionych kosztów związanych z modernizacją instalacji wodociągowej i kanalizacyjnej.

Uwzględniając dodatkowo koszty eksploatacji urządzenia, rzeczywiste roczne oszczędności wyniosą 17 527,94 zł., czas zwrotu wyniesie:

$$SPBT = \frac{317237,42}{17527,94}$$

$$SPBT \cong 18 \text{ lat}$$

18 lat to okres zwrotu poniesionych kosztów związanych z modernizacją instalacji wodno-kanalizacyjnej oraz jej utrzymaniem.

Najlepszą inwestycją jest taka, dla której nakłady finansowe zostaną zwrócone w jak najkrótszym czasie. Jednak, aby ocenić opłacalność danej inwestycji, inwestor sam musi określić najdłuższy akceptowalny okres zwrotu nakładów, a następnie na tej podstawie uznać czy obliczona wartość SPBT jest dla niego satysfakcjonująca.

Podsumowanie

Przykład modernizacji instalacji wodociągowej i kanalizacyjnej w Domu Studenckiego nr 1 wskazuje się jako zachęający do wprowadzania tego wciąż niszowego w Polsce rozwiązania. Szara woda ma duży potencjał recyklingu i ponownego wykorzystania, aby zapewnić wystarczającą ilość wody dla ludzi, jednak jej zastosowania są nadal ograniczone ze względu na zbyt małą popularność. Należy rozwijać technologie, działania i strategie ponownego wykorzystania szarych ścieków na poziomie gospodarstw domowych oraz innych obiektów w celu popularyzacji instalacji dualnych. Koszty wody wraz

z odprowadzeniem ścieków stale rosną, może to przyczynić się do jeszcze szybszego zwrotu kosztów inwestycji, które także będą mniejsze podczas wykonania instalacji na etapie budowy nowego obiektu. Dodatkowe oszczędności można też uzyskać wykonując dokładny projekt instalacji oraz obliczenia i dobór odpowiedniego systemu do oczyszczania ścieków, który jest najdroższym elementem planowanej inwestycji. System, który jest praktycznie bezobsługowy, wymaga jedynie corocznej kontroli. Jego koszty eksploatacji zależą głównie od ilości energii elektrycznej pobieranej przez urządzenie podczas pracy. Istnieje możliwość zminimalizowania tych kosztów, poprzez wykorzystanie paneli fotowoltaicznych, które poprawnie dobrane mogłyby zapewnić niezbędną ilość energii do pracy systemu oczyszczania ścieków.

Dobowe zużycie wody w opisywanym w artykule budynku w przeliczeniu na jednego mieszkańca z zastosowaniem systemu recyklingu szarej wody zmniejszy się

Tabela 7. Wady i zalety instalacji do recyklingu szarych ścieków
Table 7. Advantages and disadvantages of grey-water recycling installations

Zalety
- zredukowanie rocznego poboru wody wodociągowej o 41% - zredukowanie rocznych kosztów wody wodociągowej o 41% - rozwiązanie ekologiczne, sprzyjające ochronie środowiska oraz naturalnym zasobom wody - wysoka jakość oczyszczonej wody szarej, prawie w 100% wolna od zanieczyszczeń, wirusów oraz bakterii, bezwonna - zaprogramowany, bezobsługowy oraz bezawaryjny system oczyszczania ścieków - konserwacja urządzenia raz w roku - możliwość wykorzystania wody szarej do podlewania zieleni lub do prania - mniejsza ilość odprowadzanych ścieków do systemu kanalizacji miejskiej - możliwość stosowania w większości budynków, w których wytwarzane są szare ścieki - możliwość montażu urządzeń do oczyszczania w budynku oraz pod ziemią - zastosowanie technologii szarych ścieków pozwala na uzyskanie certyfikatów BREEAM oraz LEED (systemy certyfikacji ekologicznej budynków)
Wady
- brak unormowań i przepisów prawnych dotyczących projektowania instalacji dualnych - dla niektórych osób brak komfortu ze względu na myśl o możliwości użytkowania zanieczyszczonej wody - maksymalny czas przetrzymywania oczyszczonych ścieków wynosi 24h - w przypadku modernizacji, dużo pracy remontowej związanej z wykonaniem instalacji dualnej - wysoki koszt systemu do recyklingu szarych ścieków - po uwzględnieniu corocznych kosztów eksploatacji czas zwrotu inwestycji jest dość długi - przedostanie się dużej ilości fekalii do szarych ścieków, może spowodować złą pracę urządzenia i gorszą jakość wody użytkowej, a nawet brak możliwości jej użycia - w przypadku skaleczeń czy ran skóry nie zaleca się kontaktu z szarą wodą - w przypadku powszechnego stosowania urządzeń do recyklingu szarych ścieków, zmianie ulegnie skład ścieków miejskich, zwiększą się stężenia wskaźników zanieczyszczeń

o ilość wody przeznaczoną do spłukiwania toalet tj. minimum 38l/d i wyniesie minimum 87 dm³/M · d.

LITERATURA

- [1] Bartoszewski K. i wsp., Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Wielkopolski, Poznań 2011.
- [2] Jefferson B., Laine A., Parsons S., Stephenson T., Judd S., Technologies for domestic wastewater recycling, Urban Water Volume 1, Issue 4, December 2000, Pages 285-292, (DOI: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00030-3))
- [3] Eriksson E., Auffarth K., Henze M., Ledin A., Characteristics of grey wastewater, Urban Water, Volume 4, Issue 1, March 2002, Pages 85-104, (DOI: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4))
- [4] Winward G. P., Avery L. M., Williams R. F., Pidou M., Jeffrey P., Stephenson T., Jefferson B., A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse, Ecological Engineering, Volume 32, Issue 2, 1 February 2008, Pages 187-197, (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.11.001>)
- [5] Grzelak A., Fiałkiewicz-Kozieł B., Perspektywy i potencjalne zagrożenia ponownego wykorzystania szarej wody, Inżynieria i ochrona środowiska, T.20, nr 1, 2017, str. 27-41,
- [6] Grzelak A., Fiałkiewicz-Kozieł B., Perspektywy i potencjalne zagrożenia ponownego wykorzystania szarej wody, Inżynieria i ochrona środowiska, T.20, nr 1, 2017, str. 27-41,
- [7] Li, Wichmann K., Otterpohl R., Evaluation of appropriate technologies for grey water treatments and reuses, Water Science & Technology, 2009,
- [8] De Gisia S., Casellab P., Notarnicolaand M., Farina R., Grey water in buildings: a mini-review of guidelines, technologies and case studies, Civil engineering and environmental systems, 2016 Volume 33, NO. 1, 35-54 (DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10286608.2015.1124868>)
- [9] Atasoy E., Murat S., Baban A., Tiris M., Membrane Bioreactor (MBR) Treatment of Segregated Household Wastewater for Reuse, Volume35, Issue5 Special Issue: Dedicated to Müfit Bahadır at this 60th birthday, November 2007, Pages 465-472,
- [10] Atanasova N., Dalmiau M., Comas J., Poch M., Rodriguez-Roda I., Buttiglieri G., Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities, Journal of Environmental Management, Volume 193, 15 May 2017, Pages 503-511, (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.041>)
- [11] Stec A., Słyś D., Financial and Social Factors Influencing the Use of Unconventional Water Systems in Single-Family Houses in Eight European Countries, Resources, 2022; 11(2):16, (DOI: <https://doi.org/10.3390/resources11020016>)
- [12] Wanjiru E., Xia X., Optimal energy-water management in urban residential buildings through grey water recycling, Sustainable Cities and Society, Volume 32, July 2017, Pages 654-668, (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.009>)
- [13] Hyde K., An evaluation of the theoretical potential and practical opportunity for using recycled greywater for domestic purposes in Ghana, Journal of Cleaner Production, 2013, 60, 195-200, (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.004>)

- [14] Nolde E., Grewater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin, *Urban Water*, Volume 1, Issue 4, December 2000, Pages 275-284, (DOI: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00023-6))
- [15] Friedler E., Kovalio R., Galil N.I., On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings, *Water Science and Technology*, (2005) 51 (10): 187–194, (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.007>)
- [16] Friedler E., Hadari M., Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings, *Desalination*, Volume 190, Issues 1–3, 15 April 2006, Pages 221-234, (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.007>)
- [17] Dhiman V. K., Singh J., Kanoung A., Goyal A., Singh Y., Reuse of grey water generated from high rise educational building, *Materials Today: Proceedings*, Volume 69, Part 2, 2022, Pages 372-377, (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.053>)
- [18] Alsulaili A. D.; Hamoda M. F., Quantification and characterization of greywater from schools, *Water Science and Technology*, (2015) 72 (11): 1973–1980, (DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2015.408>)
- [19] Alsulaili A. D.; Hamoda M. F.; Al-Jarallah R.; Alrukaibi D., Treatment and potential reuse of greywater from schools: a pilot study, *Water Science and Technology* (2017) 75 (9): 2119–2129, (DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2017.088>)
- [20] March J.G., Gual M., Orozco F., Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain), *Desalination*, Volume 164, Issue 3, 15 April 2004, Pages 241-247, (DOI: [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(04\)00192-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(04)00192-4))
- [21] Atanasova N., Dalmau M., Comas J., Poch M., Rodriguez-Roda I., Buttiglieri G., Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities, *Journal of Environmental Management*, Volume 193, 15 May 2017, Pages 503-511, (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.041>)
- [22] Sayegh M. A., Ludwińska A., Rajski K., Dudkiewicz E., Environmental and energy saving potential from greywater in hotels, *Science of The Total Environment*, Volume 761, 20 March 2021, 143220, (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143220>)
- [23] Lipska, M., Wykorzystywanie oczyszczonych ścieków szarych w instalacjach wodnych w budynkach i ich otoczeniu, *Instal*, 2016, nr 4, 50–55
- [24] <https://zwik.lodz.pl/pl/artykuly/243/oplaty-na-rok-2018-do-12-czerwca> [dostęp 01.11.2023]
- [25] <https://zwik.lodz.pl/pl/artykuly/242/oplaty-od-13-06-2018-do-12-06-2021> [dostęp 01.11.2023]
- [26] <https://zwik.lodz.pl/pl/artykuly/318/oplaty-od-13-06-2021> [dostęp 01.11.2023]
- [27] <https://redi.eu/greywater-recovery-system/> [dostęp 01.11.2023]
- [28] BS 8525-1:2010 „Greywater systems. Code of practice”.
- [29] Kalkulator zużycia prądu, www.naukowiec.org [dostęp: 01.11.2023 r.]
- [30] A. Ludwińska, J. Paduchowska, Analiza opłacalności wykorzystania systemu odzysku ścieków szarych w budynku mieszkalnym, www.rynekinstalacyjny.pl [dostęp: 07.02.2023 r.]
- [31] Jodłowski, A., Dobrzański, M., Analiza ekonomiczna możliwości stosowania instalacji odzysku wody z szarych ścieków w gospodarstwach domowych i w hotelach, *Instal*, 2016, nr 3, 48–51 ■