

Konrad MERC, Longina STĘPNIAK

Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa
e-mail: konradmerc@wp.pl, stepniak@is.pcz.czyst.pl

Instalacje dualne jako alternatywa dla tradycyjnych instalacji wodociągowo-kanalizacyjnych

Stale malejące odnawialne zasoby wody słodkiej powodują konieczność ujmowania wód coraz gorszej jakości i trudniejszych do uzdatnienia. Dlatego tak istotna jest ochrona zasobów wód i działania na rzecz ich odnowy. Zasadniczym celem pracy była analiza ekonomiczna kosztów wykonania instalacji dualnej w trzech różnych wariantach oraz czasu amortyzacji tych inwestycji. W artykule opisano instalacje dualne wykorzystujące wodę szarą oraz deszczową, które umożliwiają ograniczenie zużycia wody uzdatnionej oraz degradacji odnawialnych zasobów wody słodkiej. Konieczność stosowania wody wodociągowej do takich celów, jak spłukiwanie toalet czy podlewanie ogrodu nie jest w żaden sposób uzasadniona, dlatego należy zwrócić uwagę na rozwiązanie alternatywne w postaci instalacji dualnych.

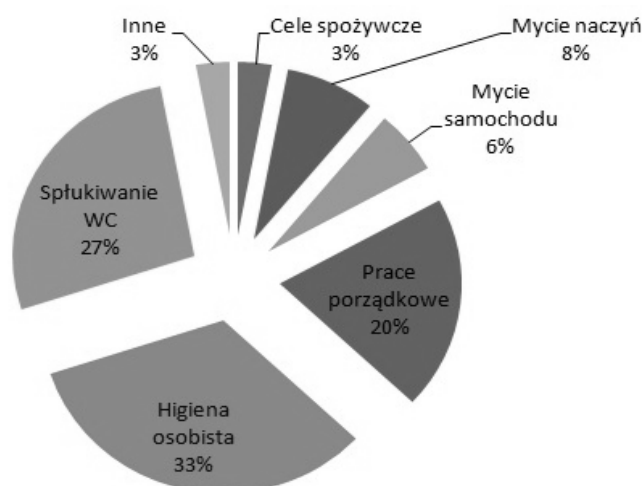
Słowa kluczowe: instalacje dualne, woda szara, woda deszczowa

Wstęp

Niekorzystny bilans zasobów wodnych, mogących stanowić źródło wody na cele wodociągowe, przekonuje o zasadności stosowania rozwiązań ograniczających jej zużycie. Problem ten ma zasięg globalny terytorialnie, chociaż zaznacza się duże jego zróżnicowanie w poszczególnych krajach. Jednocześnie wiadomo, że problem oszczędzania wody łączy aspekt ochrony środowiska naturalnego, jak również ma wymiar ekonomiczny. Istotne jest jednak określenie wymiernych korzyści materialnych, osiągniętych w rezultacie stosowania rozwiązań proekologicznych. Instalacje dualne, chociaż ograniczają ilość zużywanej wody, co jest aspektem pozytywnym, to nie zmniejszają zarazem komfortu jej użytkowania.

Zużycie wody w gospodarstwach domowych jest zależne od standardu wyposażenia pomieszczeń w armaturę czerpalną oraz przybory sanitarne, a także od liczby mieszkańców. Przeciętne dobowe zużycie wody na osobę w Polsce wynosi około 95 dm³. Jeszcze kilka lat temu średnie dobowe zużycie wody na jednego mieszkańca było wyższe, tj. wynosiło nawet do 200 dm³ [1, 2]. Na efekt zmniejszenia zużycia wody niewielki był wpływ świadomości ludzi związany z koniecznością oszczędzania wody ze względu na ochronę jej zasobów w środowisku [1, 3, 4]. Obecnie wodę oszczędza się głównie ze względów ekonomicznych w związku z opomiarowaniem jej zużycia w gospodarstwach domowych. Zmniejszone zużycie wody jest wynikiem jej oszczędzania z uwagi na cenę, ale także stosowania

wodooszczędnych przyborów (pralek, zmywarek, spłuczek zbiornikowych) oraz armatury czerpalnej z perlatorami i ogranicznikami wypływu. Jednocześnie należy wspomnieć o wzroście standardu wyposażenia mieszkań w urządzenia wodociągowo-kanalizacyjne i zmianie nawyków higienicznych mieszkańców, co stabilizuje zużycie wody na pewnym ustalonym poziomie. Strukturę zużycia wody w statystycznym domu jednorodzinnym prezentuje rysunek 1.



Rys. 1. Struktura dziennego zużycia wody w budynku mieszkalnym [4]

Fig. 1. The structure of daily water consumption in residential building [4]

Według danych zobrazowanych na wykresie (rys. 1), jedynie 44% ogólnego zużycia musi stanowić woda spełniająca normy zawarte w rozporządzeniu ministra zdrowia regulującym jakość wody do spożycia. Cele spożywcze, higieniczne czy mycie naczyń wymagają odpowiedniej jakości wody i nie ma tu możliwości zastosowania rozwiązań przedstawionych w dalszej części pracy. Jednak w przypadku pozostałych 56% ogólnego zużycia wody można poczynić wiele kroków ograniczających wyczerpywanie zasobów naturalnych i nieekonomiczne wykorzystanie wody uzdatnionej, przygotowanej na istotniejsze cele [5].

Celem pracy jest przedstawienie wybranych rozwiązań instalacji dualnych, jak również ogólna analiza ekonomiczna kosztów przykładowych inwestycji na podstawie rocznego bilansu zużycia wody. Instalacja dualna („podwójna”) to zintegrowany system zaopatrzenia w wodę, umożliwiający powtórne wykorzystanie wody szarej/deszczowej.

Woda szara jest to woda pochodząca z ujęcia wody czy wodociągu, która została już jednokrotnie użyta, ale nadaje się do powtórnego wykorzystania. Może to być woda pochodząca z kąpieli, prania, umywalek. Woda ta, ze względu na swój skład, aby mogła być powtórnie wykorzystana w instalacjach dualnych, musi być poddana procesowi wstępnego podczyszczania na drodze filtracji oraz wymieszana

z czystą wodą wodociągową. Polska norma PN-EN 12056-2:2002 definiuje wodę szarą jako „ścieki nie zawierające fekaliów i moczu” [6].

Woda deszczowa jest wodą pochodzenia naturalnego i powstaje podczas opadów atmosferycznych. Jej czystość zależy od powierzchni odbierającej, a także od czystości powietrza (zawartości sadzy, pyłów przemysłowych, pyłków roślin itp.). Wody deszczowe w miastach i na terenach o zabudowie gęstej stanowią poważny problem, jeżeli nie są odpowiednio zagospodarowane. Żeby to zminimalizować, wody opadowe powinny być wprowadzane do obiegu w miejscu opadu. Wody deszczowe spłukują różne substancje, np. z terenów stacji benzynowych, z dróg asfaltowych, ze składowisk odpadów. Woda opadowa po zetknięciu się z tego rodzaju zanieczyszczeniami staje się ściekiem, zawierającym w swoim składzie substancje ropopochodne, jony metali ciężkich oraz wiele innych niebezpiecznych substancji. Woda deszczowa odznacza się małą twardością, kwaśnym odczynem (właściwości korozyjne) i niskim poziomem zasolenia. Z punktu widzenia instalacji dualnych woda deszczowa jest pożądanym źródłem zaopatrzenia w wodę [7, 8]. Jakość wody szarej i deszczowej nie jest określona odrębnym rozporządzeniem.

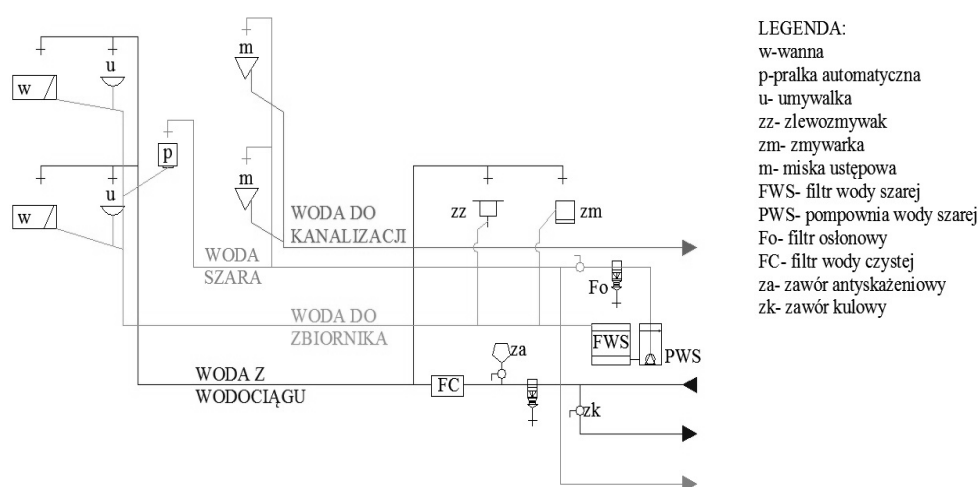
1. Ogólna charakterystyka rozwiązań instalacji dualnych do odzysku wody szarej i deszczowej

Biorąc pod uwagę, że dla jednego mieszkańca Europy ilość powstającej wody szarej stanowi około 55% dziennego zapotrzebowania na wodę, oczywiste jest, że stanowi ona znaczny zasób możliwy do powtórnego wykorzystania. Woda pochodząca z odzysku po odpowiednim uzdatnieniu może zostać wykorzystana do celów przemysłowych, spłukiwania misek ustępowych, celów porządkowych czy też podlewania ogrodu. Szeroki wachlarz możliwości wykorzystania instalacji odzysku wody szarej pozwala na zastosowanie tej technologii zarówno w budynkach jedno-, jak i wielorodzinnych, hotelach, obiektach użyteczności publicznej, zakładach przemysłowych i innych [9].

Przykładową instalację odzysku wody szarej przedstawiono na rysunku 2. Za pomocą złożonego zespołu urządzeń oraz oddzielnej sieci przewodów woda odpływająca z wybranych przyborów sanitarnych (pralki, umywalek, wanien) po przefiltrowaniu doprowadzana jest do zbiornika wody szarej. Zbiornik ma niewielką objętość, wynikającą tylko z czasu oczyszczania wody w procesie filtracji. Przy wystąpieniu zapotrzebowania na wodę pompa tłoczy ją ze zbiornika do urządzeń sanitarnych typu: miska ustępowa, pralka oraz zaworu czerpalnego zainstalowanego na potrzeby gospodarcze (inne niż spożywcze i higieniczne).

Ciekawym rozwiązaniem do odzysku wody szarej są urządzenia zespolone, których zasada działania opiera się na zintegrowanym systemie pozyskiwania wody z możliwością jednoczesnego jej wykorzystania. Stosuje się tu najczęściej metodę wykorzystania wody zaraz po użyciu w danym urządzeniu do spłukiwania miski ustępowej. Najczęściej spotykanym rozwiązaniem jest zespolenie umywalki lub pralki z miską ustępową. Dzięki zastosowaniu zbiornika na wodę szarą, który połą-

czony jest dodatkowo z kanalizacją, brak jest problemu przelania się wody, a w przypadku jej niedostatku, może zostać użyta woda z wodociągu. Zastosowanie tego typu urządzeń zespolonych skierowane jest na ekologiczne wykorzystywanie zasobów wodnych przy jednocześnie niewielkim nakładzie finansowym w stosunku do instalacji odzysku wody z wielu urządzeń. Urządzenia tego typu stanowią alternatywę dla budynków zagospodarowanych, w których prowadzenie oddzielnej sieci przewodów wiązałoby się z wysokimi kosztami i brakiem opłacalności przedsięwzięcia. Rozwiązanie w postaci miski ustępowej zespolonej z umywalką znajduje coraz częściej zastosowanie w segmencie budownictwa użyteczności publicznej (hotele, biurowce) w krajach z gorącym klimatem o ograniczonych zasobach wody [11].



Rys. 2. Schemat przykładowej instalacji do odzysku wody szarej [10]

Fig. 2. Installation diagram for the grey water recovery [10]

Odzysk wody szarej jest rozwiązaniem wysoce ekologicznym. Pozwala na zmniejszenie zużycia wody uzdatnianej na cele wodociągowe (o jakości wody do spożycia), co zmniejsza eksploatację naturalnych zasobów wodnych. Rezultatem zastosowania instalacji jest również mniejsza ilość odprowadzanych ścieków. Należy przy tym zwrócić uwagę, że oczyszczanie ścieków wiąże się z dużym nakładem finansowym oraz koniecznością budowy niezbędnych elementów kanalizacyjnych. Jednocześnie w przypadku wielu krajów stopień skanalizowania osiedli jest znikomy, przez co ścieki nieoczyszczone trafiają do gleby bądź wprowadzane są do zbiorników wodnych, wskutek czego powodują degradację środowiska naturalnego [8, 12-15].

Istotnym rozwiązaniem, pozwalającym na oszczędzanie naturalnych zasobów wody słodkiej, jest wykorzystanie wody opadowej. Woda opadowa jest częścią tak zwanego cyklu hydrologicznego na Ziemi, a zatem jest częścią naturalnych zasobów

bów wody. W porównaniu do wody szarej jest bardziej pożądanym źródłem wody, ponieważ jej pozyskanie jest łatwiejsze, a instalacja do jej zagospodarowania jest prostsza do wykonania. Ponadto woda deszczowa jest miękka i nie powoduje osadzania się kamienia. Jej minusem jest wysoka korozyjność, dlatego do wykonania instalacji zaleca się stosowanie materiałów z tworzyw sztucznych [8, 16].

Z wymienionych powodów możliwości wykorzystania wody deszczowej do celów gospodarczych jest więcej niż w przypadku wody szarej. Decyduje o tym w dużej mierze również to, że koszt jej uzdatniania jest niższy.

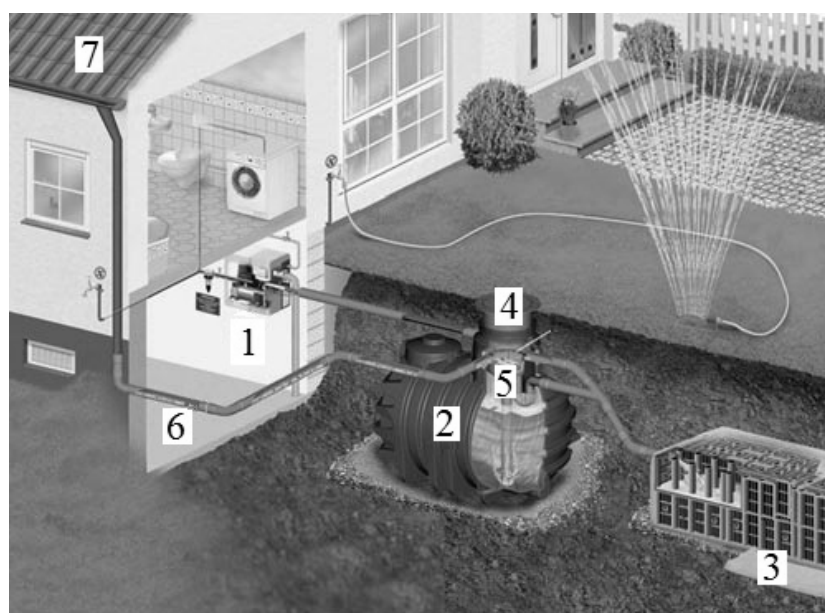
Instalacje do odzysku wody deszczowej dzielą się na następujące główne systemy:

- system ogrodowy, w którym woda wykorzystywana jest na podlewanie ogrodów, zraszanie trawników, mycie pojazdów czy też do celów porządkowych,
- system domowy, w którym deszczówka wykorzystywana jest do celów porządkowych, do pralek automatycznych, spłuczek misek ustępowych, pisuarów,
- system mieszany, stanowiący połączenie dwóch wymienionych systemów.

Poza korzyściami ekonomicznymi, wynikającymi z tego przedsięwzięcia, jedną z najistotniejszych zalet tych instalacji jest możliwość retencji wody deszczowej. Przy pozyskiwaniu wody deszczowej należy jednak spełnić szereg warunków. Bardzo istotną kwestią jest odpowiedni dobór rodzaju instalacji. W zależności od miejsca, ilości i celu wykorzystania wody deszczowej zastosowany może być odpowiedni system odzysku, różniący się usytuowaniem zbiornika gromadzącego wodę deszczową, tj.: na powierzchni terenu, pod powierzchnią terenu lub wewnątrz budynku. Koszt zbiornika gromadzącego wodę (o większych wymiarach niż w przypadku zbiornika wody szarej) i jego montażu jest podstawowym składnikiem kosztów całej instalacji.

Zbiorniki w systemie ogrodowym, domowym i mieszanym, zależnie od miejsca posadowienia różnią się materiałem, kształtem, pojemnością, a także umiejscowieniem dodatkowego oprzyrządowania (wewnątrz zbiornika lub na jego stronie zewnętrznej). Na rysunku 3 przedstawiono rozwiązanie instalacji z zastosowaniem zbiornika zewnętrznego posadowionego pod ziemią [17].

Współpraca instalacji odzysku wody szarej i deszczowej w dualnych systemach zintegrowanych umożliwia uzyskanie dużo większych korzyści. W związku z tym, że wody opadowe występują okresowo i nierównomiernie oraz trudno przewidzieć ich intensywność, konieczna jest budowa dużych zbiorników gromadzących wodę. Woda szara natomiast pozyskiwana jest w sposób ciągły, co pozwala na dostęp do niej na bieżąco. Uzasadnieniem stosowania obydwu instalacji jest też fakt, że każdy z rodzajów wody, opadowa czy szara, może być zużywany w odpowiednim celu. Woda opadowa nadaje się do podlewania ogrodu, mycia samochodów, okien, podłóg oraz do prania, ponieważ jest to woda miękka i nie pozostawia smug. Natomiast do celów porządkowych czy spłukiwania miski ustępowej nadaje się woda szara [15, 18-20].



Rys. 3. Instalacja do odzysku wody deszczowej z podziemnym posadowieniem zbiornika [17]:
1 - centrala sterująca, 2 - podziemny zbiornik wody deszczowej, 3 - system rozsączający, 4 - właz rewizyjny, 5 - filtr wody deszczowej, 6 - przewód doprowadzający deszczówkę, 7 - powierzchnia zbierająca

Fig. 3. Installation for the grey water recovery with underground construction tank [17]: 1 - control unit, 2 - underground rainwater tank, 3 - drainage system, 4 - inspection hatch, 5 - rainwater filter, 6 - rainwater supply pipe, 7 - collecting surface

Do najważniejszych zalet dualnych rozwiązań odzysku wody szarej i deszczowej, podkreślanych w literaturze dotyczącej tej tematyki, zalicza się [14, 16, 17, 21, 22]:

- zredukowanie zużycia wody wodociągowej o ponad 50%,
- ochronę środowiska naturalnego i naturalnych zasobów wody,
- mniejszą ilość odprowadzanych ścieków,
- możliwość nawadniania ogrodów,
- możliwość zagospodarowania wód opadowych w miejscu ich powstawania,
- retencją i infiltracją wód deszczowych zapobiegającą powstawaniu powodzi,
- niski koszt eksploatacji,
- praktycznie bezobsługową eksploatacją,
- możliwość zastosowania urządzeń zespolonych,

Niekorzystne aspekty tych rozwiązań to:

- stosunkowo wysoki koszt instalacji, szczególnie wody szarej,
- konieczność wykonania odrębnej instalacji wewnątrz budynku,
- ewentualne prace remontowe w budynkach użytkowanych,
- w przypadku instalacji podziemnych, konieczność wykonania wykopów (czasowe zakłócenie walorów estetycznych).

2. Bilans ekonomiczny inwestycji dla instalacji dualnych

Do sporządzenia bilansu i obliczeń okresu zwrotu inwestycji wzięto pod uwagę trzy warianty instalacji dualnych, tj.:

Wariant 1 - instalacja do odzysku wody szarej ze zbiornikami wewnątrz budynku,
Wariant 2 - instalacja z podziemnym umiejscowieniem zbiornika do odzysku wody deszczowej,

Wariant 3 - zespolona instalacja odzysku wody szarej i deszczowej.

Przyjęto następujące założenia wyjściowe:

- zastosowane zostaną gotowe rozwiązania instalacji dualnych dostępne na rynku komercyjnym,
- instalacja dualna będzie zastosowana w domu jednorodzinnym piętrowym (o powierzchni dachu 80 m², z ogrodem o powierzchni 450 m²), zamieszkiwanym przez 5-osobową rodzinę,
- średni roczny opad atmosferyczny dla terenu lokalizacji obiektu wynosi 680 mm,
- w budynku są dwie łazienki (na parterze i piętrze), a każda z nich jest wyposażona w natrysk, umywalkę, pralkę automatyczną i miskę ustępową,
- budynek jest zagospodarowany, w związku z czym konieczne jest wykonanie drobnych prac remontowych,
- działanie instalacji dualnej jest następujące: woda szara odzyskiwana jest z pralki automatycznej, umywalki oraz natrysku i powtórnie może być wykorzystywana do spłukiwania miski ustępowej i na cele gospodarcze (porządkowe); pozyskana woda deszczowa służy do zasilania pralki automatycznej, spłukiwania miski ustępowej, na cele gospodarcze, podlewanie ogrodu,
- w wybranej instalacji są zaplanowane dwa zawory czerpalne ½ i ¾ cala (doprowadzenie wody do pomieszczenia gospodarczego i do ogrodu),
- przed przepełnieniem zbiornika wody szarej/deszczowej chroni przelew automatyczny,
- w wariantcie 3 zastosowana zostanie instalacja zespolona, wyposażona dodatkowo w system rozsączający, który umożliwi wprowadzenie nadmiaru wody deszczowej pod powierzchnię terenu,
- przy wykonaniu obliczeń zwrotu inwestycji przyjęto średnią cenę wody w Polsce oraz cenę maksymalną,
- wzięto pod uwagę oszczędności wynikające z użycia wody szarej lub/i deszczowej do pokrycia zapotrzebowania na wodę dla określonych celów.

Zgodnie z danymi GUS, przeciętne zużycie wody przez jednego mieszkańca (1 Mk) w ciągu roku wynosi 33,9 m³ [23], w związku z czym pięcioosobowa rodzina w ciągu roku zużywa około 169,5 m³ wody.

Ilość wody, która może być zastąpiona wodą szarą lub deszczową, potrzebną na poszczególne cele dla 5 mieszkańców (do spłukiwania miski ustępowej, na cele porządkowe, pranie, podlewanie ogrodu), można obliczyć według wskaźników zużycia wody na dany cel: na mieszkańca i dobę (WC, pranie), na mieszkańca i rok (cele porządkowe), a także na powierzchnię terenu na rok (podlewanie ogrodu) [21]:

WC	$5 \text{ Mk} \cdot 21,68 \text{ dm}^3 \cdot 365 \text{ dni} = 39\,566 \text{ dm}^3/\text{rok} \approx 39,6 \text{ m}^3/\text{rok}$
Pranie	$5 \text{ Mk} \cdot 6,06 \text{ dm}^3 \cdot 365 \text{ dni} = 11\,060 \text{ dm}^3/\text{rok} \approx 11,1 \text{ m}^3/\text{rok}$
Cele porządkowe	$5 \text{ Mk} \cdot 800 \text{ dm}^3 = 4000 \text{ dm}^3/\text{rok} = 4 \text{ m}^3/\text{rok}$
Podlewanie ogrodu	$450 \text{ m}^2 \cdot 60 \text{ dm}^3 = 27\,000 \text{ dm}^3/\text{rok} = 27 \text{ m}^3/\text{rok}$
	Suma: $81,7 \text{ m}^3/\text{rok}$

Wariant 1

Koszt typowej instalacji do odzysku wody szarej, ze zbiornikami wody wewnątrz budynku i spełniającej podane kryteria wyjściowe, wynosi około 16 500 ÷ 17 000 złotych. Montaż instalacji, podobnie jak w przypadku pozostałych wariantów, wiąże się z wykonaniem drobnych prac remontowych, których koszt, zależnie od wykończenia budynku oraz sposobu prowadzenia przewodów odprowadzających oraz doprowadzających wodę szarą, może wynieść 1000 ÷ 6000 złotych. Średnio koszt remontu wraz z montażem wynosi około 3500 złotych. Zatem finalny koszt inwestycji zawiera się w przedziale 20 000 ÷ 20 500 złotych [15, 24].

Zgodnie z publikacją [21], dobowe zużycie wody określone dla przyborów sanitarnych w obiekcie rzeczywistym (na podstawie częstości użycia) wynosiło odpowiednio: umywalka - $4,65 \text{ dm}^3/\text{os} \cdot \text{d}$, natrysk - $13,75 \text{ dm}^3/\text{os} \cdot \text{d}$, pralka automatyczna - $6,06 \text{ dm}^3/\text{os} \cdot \text{d}$, miska ustępowa - $21,68 \text{ dm}^3/\text{os} \cdot \text{d}$.

Na podstawie wyżej podanych wartości obliczono, że ilość wody szarej z poszczególnych przyborów przyjętych w założeniach wynosi:

Umywalka	$5 \text{ Mk} \cdot 4,65 \text{ dm}^3 \cdot 365 \text{ dni} = 8\,486 \text{ dm}^3/\text{rok} \approx 8,5 \text{ m}^3/\text{rok}$
Natrysk	$5 \text{ Mk} \cdot 13,75 \text{ dm}^3 \cdot 365 \text{ dni} = 2\,5094 \text{ dm}^3/\text{rok} \approx 25,1 \text{ m}^3/\text{rok}$
Pralka automatyczna	$5 \text{ Mk} \cdot 6,06 \text{ dm}^3 \cdot 365 \text{ dni} = 11\,060 \text{ dm}^3/\text{rok} \approx 11,1 \text{ m}^3/\text{rok}$

Zatem w bilansie rocznym ilość powstającej wody szarej (z umywalki, natrysku i pralki), wynosząca $44,7 \text{ m}^3$, pokrywa zapotrzebowanie wody do spłukiwania miski ustępowej ($39,6 \text{ m}^3$), jak również na cele porządkowe - 4 m^3 . Konieczność użycia wody wodociągowej w tych celach może wynikać z nierównomiernego rozkładu dobowego powstawania wody szarej (szczególnie w przypadku pralki).

Wariant 2

Wybrano instalację z podziemnym zbiornikiem na wodę deszczową, o objętości wymaganej dla 5-osobowej rodziny. Obliczoną objętość porównano z wartością przyjętą na podstawie założeń podanych na stronie producenta [25]. Koszt instalacji wiąże się z nakładami 8000 ÷ 10 000 zł. Cena zbiornika na wodę deszczową stanowi 50% kosztów instalacji deszczowej podziemnej. Do realizacji inwestycji dodać należy koszty związane z podłączeniem urządzeń, wykonaniem prac remontowych oraz posadowieniem zbiornika, i przewodów w gruncie. Przyjęto, że wykonanie wykopu pod posadowienie zbiornika i przewody doprowadzające wodę deszczową do budynku wynosi 700 zł. Natomiast nakład na prace remontowe w tym przypadku, ze względu na posadowienie zbiornika przewiduje się niższy - około 2500 zł. Zatem całkowity koszt instalacji wynosi 11 200 ÷ 13 200 złotych [26, 27].

Wielkość zbiornika można obliczyć według wzoru [28, 29]:

$$W = H \cdot P \cdot s$$

gdzie:

W - ilość wody pozyskanej w ciągu roku, dm^3/rok ,

H - wysokość średniego rocznego opadu ($680 \text{ dm}^3/\text{m}^2$),

P - powierzchnia dachu, m^2 (80 m^2),

s - współczynnik spływu (dla dachówki ceramicznej $s = 0,8$),

$$W = 680 \cdot 80 \cdot 0,8 = 43\,520 \text{ dm}^3/\text{rok} \approx 43,5 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Obliczenie wielkości zbiornika na wodę deszczową wymaga uwzględnienia sumarycznego zapotrzebowania na wodę oraz ilości możliwej do pozyskania wody deszczowej. Do obliczeń zaleca się stosowanie wzoru [25, 28-30]:

$$Z = [((Z_w + W)/2) \cdot 21]/365$$

gdzie:

Z_w - sumaryczne roczne zapotrzebowanie na wodę na dane cele, m^3/rok ,

W - ilość wody pozyskanej w ciągu roku, m^3/rok ,

21 - czynnik uwzględniający okres suchy, dni,

365 - liczba dni w roku

$$Z = [((81,7 + 43,5)/2) \cdot 21]/365 = 3,6 \text{ m}^3$$

Średnia z rocznego zapotrzebowania na wodę oraz ilość pozyskanej wody deszczowej pozwala na zapewnienie pewnej rezerwy objętości, mimo to producenci instalacji odzysku wody deszczowej zalecają wybór zbiornika większego niż wynikający z obliczeń. Ma to na celu zabezpieczenie przed przepełnieniem zbiornika, jak również daje możliwość zgromadzenia większej ilości wody na wypadek okresu bezdeszczowego. W kosztach instalacji wzięto pod uwagę zbiornik o objętości obliczonej według kalkulatora producenta [25]. Wymagana pojemność zbiornika na wodę deszczową dla przyjętych w przykładzie założeń jest większa i wynosi 5 m^3 .

Ilość wody pozyskanej z opadów deszczu w ciągu roku, tj. $43,5 \text{ m}^3$, pozwoli zatem na:

wariant 2A - prawie całkowite pokrycie zapotrzebowania do spłukiwania miski ustępowej ($39,6 \text{ m}^3$) oraz cele porządkowe (4 m^3), w sumie $43,6 \text{ m}^3$,

wariant 2B - całkowite pokrycie zapotrzebowania na pranie ($11,1 \text{ m}^3$), cele porządkowe (4 m^3) oraz podlewanie ogrodu (27 m^3), w sumie $42,1 \text{ m}^3$.

Wariant 3

Według danych dostępnych w informacjach komercyjnych, tego typu rozwiązanie jest najdroższe. Główną część kosztów stanowi zbiornik na wodę deszczową oraz system odzysku wody szarej. W zależności od pojemności zbiornika koszt instalacji wynosi $24\,000 \div 34\,000$ zł. Istotną część kosztów w wybranej instalacji stanowi także odrębny system rozsączający, wymagany przy nadmiarze wody

w instalacji zespolonej. Do kosztów instalacji należy doliczyć ewentualny koszt prac remontowych, który w tym przypadku wyniesie około 5000 zł. Finalny koszt instalacji zespolonej wynosi 29 000÷39 000 złotych [15, 20, 24].

Ilość powstającej wody szarej i deszczowej w ciągu roku oszacowano w przybliżeniu: $44,7 + 43,5 = 88,2 \text{ m}^3$. Dla tego wariantu możliwe zatem będzie całkowite pokrycie zapotrzebowania wody na wszystkie wymienione wcześniej cele: spłukiwanie miski ustępowej, pranie, cele porządkowe oraz podlewanie ogrodu, co daje tym samym największe oszczędności.

Dla oszacowania okresu zwrotu inwestycji opisanych instalacji dualnych zestawiono w tabeli 1 roczny koszt wody na poszczególne cele, przy założeniu średniej ceny dla gospodarstw domowych (uwzględniając doprowadzenie wody i odprowadzenie ścieków) rzędu 9,86 zł za 1 m^3 [31]. Na tej podstawie i wcześniejszego bilansu określono roczne oszczędności wynikające z powtórnego użycia wody w wybranych instalacjach dualnych.

Tabela 1. Zestawienie rocznych kosztów zużycia wody na poszczególne cele przy uwzględnieniu średniej ceny wody w Polsce

Table 1. Summary of the annual cost of water use for specific purposes, taking into account the average price of water in Poland

Cele zużycia wody	Roczne zapotrzebowanie na wodę m^3	Koszt jednostkowy wody $\text{zł}/\text{m}^3$	Ogólny koszt roczny zł
Splukiwanie miski ustępowej	39,6	9,86	390,46
Cele porządkowe	4,0	9,86	39,44
			Suma: 429,90
Pranie	11,1	9,86	109,45
Cele porządkowe	4,0	9,86	39,44
Podlewanie ogrodu	27,0	9,86	266,22
			Suma: 415,11
Pranie Cele porządkowe Podlewanie ogrodu Splukiwanie miski ustępowej	81,7	9,86	805,56

Okres zwrotu instalacji dualnej dla poszczególnych wariantów jest stosunkowo długi (tab. 2). Najbardziej korzystnym rozwiązaniem w przyjętym zestawieniu jest instalacja do odzysku wody deszczowej z podziemnym zbiornikiem wody. Okres zwrotu kosztów instalacji wynosi około 23 lata, a inwestycji - ponad 30 lat. Dla instalacji do odzysku wody szarej, przy obecnej przeciętnej cenie wody, inwestycja da realny zysk dopiero po 47-letnim użytkowaniu. Zbliżone oszczędności uzyskane w instalacjach odzysku wody szarej i wody deszczowej, ze względu na znacznie wyższe koszty tej pierwszej, wskazują, że odzysk wody deszczowej w instalacjach dualnych pozwoli na krótszy okres zwrotu kosztów dla analizowanego przykładu.

Tabela 2. Okres zwrotu kosztów poszczególnych rodzajów instalacji przy uwzględnieniu średniej ceny wody (woda - ścieki) w Polsce

Table 2. The period of reimbursement of individual types of installations taking into account the average price of water (water - sewage) in Poland

Rodzaj instalacji	Koszt instalacji zł	Całkowity koszt inwestycji zł	Roczna oszczędność zł	Okres zwrotu kosztów instalacji lata	Okres zwrotu kosztów inwestycji lata
Wariant 1	17 000	20 500	429,90	39,5	47,7
Wariant 2A	10 000	13 200	429,90	23,3	30,7
Wariant 2B			415,11	24,1	31,8
Wariant 3	34 000	39 000	805,56	42,2	48,4

Największe oszczędności daje wariant 3, aczkolwiek wysokie koszty inwestycyjne wydłużają okres zwrotu tej inwestycji do ponad 48 lat. Chociaż instalacje dualne w wariantach 1 i 3 mają zbliżone okresy zwrotu inwestycji, to prawie dwukrotnie większe oszczędności umożliwia zastosowanie instalacji skojarzonej - wariant 3.

Uzyskane w tabeli 2 wyniki nie powinny jednak zniechęcać inwestorów do korzystania z tego typu rozwiązań. Wciąż malejące zasoby wody słodkiej i rosnące zanieczyszczenie sprawiają, że jej uzdatnianie staje się coraz droższe, a to wpływa na stały wzrost cen wody. Aktualnie najwyższa cena wody dla gospodarstwa domowego w Polsce w systemie woda-ścieki, występuje w miejscowości Ustron (gmina Goleszów, woj. śląskie) i według Izby Gospodarczej „Wodociągi Polskie” wynosi 23,85 zł [31]. Zestawienie kosztów wody w odniesieniu do najwyższej ceny wody dla gospodarstw domowych w Polsce podano w tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie rocznych kosztów zużycia wody na poszczególne cele przy uwzględnieniu maksymalnej ceny wody w Polsce

Table 3. Summary of the annual cost of use of water for specific purposes, taking into account the maximum price of water in Poland

Cele zużycia wody	Roczne zapotrzebowanie na wodę m ³	Koszt jednostkowy wody zł/m ³	Ogólny koszt roczny zł
Splukiwanie miski ustępowej	39,6	23,85	944,46
Cele porządkowe	4,0	23,85	95,40
			Suma: 1039,86
Pranie	11,1	23,85	264,74
Cele porządkowe	4,0	23,85	95,40
Podlewanie ogrodu	27,0	23,85	643,95
			Suma: 1004,09
Pranie	81,7	23,85	1948,54
Cele porządkowe			
Podlewanie ogrodu			
Splukiwanie miski ustępowej			

Przy uwzględnieniu maksymalnej ceny za wodę okres zwrotu instalacji dualnych ulega diametralnym zmianom (tab. 4). Okres zwrotu każdej z inwestycji nie przekracza 20 lat i dla najkorzystniejszego wariantu 2 uległ skróceniu o 18 lat.

Tabela 4. **Okres zwrotu kosztów poszczególnych rodzajów instalacji przy uwzględnieniu maksymalnej ceny wody dla gospodarstwa domowego (woda - ścieki) w Polsce**

Table 4. **The period of reimbursement of individual types of installations taking into account the maximum price of water (water - sewage) in Poland**

Rodzaj instalacji	Koszt instalacji zł	Całkowity koszt inwestycji zł	Roczna oszczędność zł	Okres zwrotu kosztów instalacji lata	Okres zwrotu kosztów inwestycji lata
Wariant 1	17 000	20 500	1039,86	16,3	19,7
Wariant 2A Wariant 2B	10 000	13 200	1039,86 1004,90	9,6 9,9	12,7 13,1
Wariant 3	34 000	39 000	1948,54	17,4	20,0

Podsumowanie

Coraz częściej proponowanymi rozwiązaniami, pozwalającymi na zmniejszenie zużycia wody, są instalacje dualne, czyli instalacje wodociągowe współdziałające z instalacjami odzysku wody szarej lub/i deszczowej. Wciąż malejące zasoby wody przysparzają wielu problemów, np. związanych z ujmowaniem wód gorszej jakości i trudniejszym ich uzdatnianiem. Z tych powodów na terenach o niskich zasobach wód słodkich, przy znacznie wyższych kosztach uzdatniania wody i cenach dla konsumenta, zastosowanie dualnych instalacji staje się bardziej uzasadnione ekonomicznie. Biorąc pod uwagę, że ilość powstającej wody szarej na jednego mieszkańca Europy stanowi około 55% dziennego zapotrzebowania, oczekuje się w tym zakresie znacznych korzyści materialnych i ekologicznych.

Zastosowanie instalacji dualnej wykorzystującej wodę szarą pozwala na ograniczenie degradacji środowiska poprzez zmniejszenie ilości zużywanej wody, a zatem ilości odprowadzanych ścieków, dając możliwość ochrony naturalnego ekosystemu oraz ciągle malejących zasobów wody słodkiej. Ważnym elementem ochrony środowiska jest edukacja ekologiczna społeczeństwa i uświadomienie, że zmniejszające się odnawialne zasoby wody są istotnym problemem. Rozwiązania mające na celu ograniczenie zużycia wody, a także ochronę środowiska są bardzo kosztowne i niejednokrotnie wymagają dużego nakładu pracy. Istotnym aspektem jest rozważenie budowy instalacji dualnej na etapie projektu budowlanego, co pozwala na mniejsze nakłady finansowe związane z instalacją systemu.

W analizowanym ogólnym bilansie rocznym wykazano istotny wpływ cen jednostkowych wody na wzrost oszczędności i znaczne skrócenie okresu zwrotu opisanych inwestycji. Zatem bardziej uzasadnione jest rozważenie budowy instalacji dualnych w obiektach zlokalizowanych na terenach o niskich zasobach wody oraz tam, gdzie woda uzdatniana jest w skomplikowanych układach technologicznych,

co w każdym przypadku skutkuje jej wysoką ceną jednostkową. W przeprowadzonej analizie uzyskano potwierdzenie, że ekonomicznie najbardziej racjonalna jest inwestycja budowy instalacji odzysku wody deszczowej (zależnie od ceny wody, okres zwrotu kosztów tej inwestycji wynosi od 13 do 30 lat). Porównywalny okres zwrotu inwestycji uzyskano dla wariantu 1 (instalacji odzysku wody szarej) i wariantu 3 (układ skojarzony). Wskazuje on jednak, że droższa instalacja 3 może być bardziej opłacalna dla bogatszych inwestorów (np. w sektorze obiektów turystycznych o dużej liczbie użytkowników) z uwagi na większe oszczędności uzyskane w tym rozwiązaniu. Podkreślić należy, że w zespolonej instalacji dualnej jest większy zakres możliwości wykorzystania wody szarej i deszczowej, selektywnie do poszczególnych celów, a także większy wpływ na ochronę zasobów wody.

Należy zwrócić uwagę, że analizę ekonomiczną inwestycji związanych z instalacjami dualnymi przeprowadzono dla maksymalnych cen kosztów instalacji. Nowe rozwiązania technologiczne o charakterze proekologicznym mają szansę na obniżenie kosztów z uwagi na coraz większą konkurencję firm oraz działania marketingowe i edukacyjne związane z ochroną środowiska. Możliwość częściowego sfinansowania budowy instalacji dualnej pozwoliłaby na skrócenie okresu zwrotu inwestycji, co z pewnością przyczyniłoby się także do spopularyzowania tych proekologicznych rozwiązań.

Podsumowując, można stwierdzić, że zastosowanie rozwiązań dualnych w znacznym stopniu przyczynia się przede wszystkim do ograniczenia zużycia uzdatnionej wody wodociągowej oraz obniżenia ilości odprowadzanych ścieków, a dzięki zastosowaniu instalacji do odzysku wody deszczowej umożliwia się jej retencjonowanie i wykorzystanie na cele gospodarcze. Jednak z powodu wykazanego długiego okresu zwrotu omawianych inwestycji instalacje dualne są trudno osiągalne dla większości społeczeństwa. Dlatego istotne jest zapewnienie odpowiedniego wsparcia ze strony państwa, jak również pomocy lokalnych samorządów w pozyskiwaniu środków z funduszy unijnych lub strukturalnych.

Literatura

- [1] Hotłoś H., Badania zmian poboru wody w wybranych miastach Polski w latach 1990-2008, *Ochrona Środowiska* 2010, 3, 39-42.
- [2] Bugajski P., Kaczor G., Struktura zużycia zimnej i ciepłej wody w gospodarstwie jednorodzinym, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 2005, 2, 17-25.
- [3] Matricon J., *Woda cenniejsza niż złoto*, Wydawnictwo FOCUS, Warszawa 2000.
- [4] Opracowanie własne na podstawie <http://www.architekt.bedzin.pl/blog/?p=217>
- [5] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. (DzU 2010, Nr 72, poz. 466) zmieniające Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. (DzU 2007, Nr 61, poz. 417) w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
- [6] PN-EN 12056-2:2002 – Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków. Część 2: Kanalizacja sanitarna, projektowanie układu i obliczenia.
- [7] <http://www.staff.amu.edu.pl/~ZTUW/ftp/D4%20Oznaczenie%20podstawowych%20parametro%20fizykochem.pdf>, listopad 2015.

- [8] Geiger W., Dreiseitl H., Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych, PROJPRZEM-EKO, Bydgoszcz 1999.
- [9] Waskom R., Kallenberger J., Gray Water Reuse and Rainwater Harvesting, Colorado State University, <http://www.ext.colostate.edu/pubs/natres/06702.html>
- [10] <http://www.mowimyjak.pl/dom/galeria/149/2349/wykorzystanie-wody-szarej/>, grudzień 2015
- [11] <http://www.e-instalacje.pl/a/4149,umywalka-z-kompaktem-wc>, grudzień 2015.
- [12] <http://www.boneta.pl/page.php?p=2a&id=190&SYSTEMY%20DO%20ODZYSKU%20I%20MAGAZYNOWANIA%20WODY%20SZAREJ,%20DESZCZOWEJ%20I%20PITNEJ>
- [13] Sarna A., Techniki uzdatniania wody, Magazyn Instalatora 2012, 2, 52, 53.
- [14] <http://oasisdesign.net/greywater/>, grudzień 2015.
- [15] http://www.zielonezycie.strefa.pl/grafika/katalog_wody_szarej.pdf, listopad 2015.
- [16] Królikowska J., Królikowski A., Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2012.
- [17] Sakson G., Wykorzystanie wód opadowych w budynkach, Rynek Instalacyjny 2010, 5, 50-53.
- [18] Piasny M., Systemy do gromadzenia i wykorzystania wody deszczowej, Magazyn Instalatora 2013, 178/179, czerwiec/lipiec, 54.
- [19] http://www.powode.pl/01wazne_inf/wi01.htm, grudzień 2015.
- [20] <http://blog.ekoforte.com/systemy-odzysku-szarej-wod/>, grudzień 2015.
- [21] Dobrzański M., Jodłowski A., Oczyszczanie szarej wody pochodzącej z gospodarstwa domowego, [w:] Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska, Tom 4, Praca zbiorowa pod red. T.M. Traczewskiej, B. Kaźmierczaka, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014, 163-172.
- [22] Mucha J., Jodłowski A., Ocena możliwości wykorzystania wody szarej, Instalator Polski 2009, 7-8, 26-30.
- [23] <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/maly-rocznik-statystyczny-polski-2015,1,16.html>, luty 2016.
- [24] Cennik 2008, http://www.boneta.pl/pliki/GEP_Gesamtpreisliste_2008_DE_PL.pdf
- [25] <http://www.aquatechnika.com.pl/content/14-kalkulatora-doboru-zbiornika-deszczowki>, luty 2016.
- [26] <http://www.aquatechnika.com.pl/pl/systemy-ogrodowe-deszczowki/26-system-ogrodowy-do-deszczowki-blueline-rewatec.html>, luty 2016.
- [27] Cennik 2013 - zagospodarowanie wody deszczowej http://www.marley.com.pl/download/cennik_zagospodarowanie_wody_deszczowej.pdf
- [28] <http://www.marleypolska.pl/?p=1144>, luty 2016.
- [29] http://www.watersystem.com.pl/woda_deszczowa/dobor_zbiornika_wody_deszczowej.pdf, luty 2016.
- [30] http://www.kessel.pl/fileadmin/uploads/Poland/pdf/Formularz_doboru_urzadzen_do_wykorzystania_wody_deszczowej.pdf, luty 2016.
- [31] <http://www.cenywody.pl/>, luty 2016.

Dual Systems Like Alternative to Traditional Installation Water and Sewage

Constantly decreasing renewable sweet water resources necessitate the recognition of water getting lower quality and more difficult to be treated. Therefore, it is important to protect water resources and measures for their renewal. The main aim of this study was to analyze the economic costs of installing dual in three different versions and an amortization period of these investments. The article describes the dual installations using gray water and rainwater, which allow you to limit the consumption of treated water and the degradation of renewable freshwater resources. The need to use tap water for purposes such as flushing toilets or watering the garden is in no way justified, and therefore should pay attention to an alternative form of dual system.

Keywords: dual installation, gray water, rain water