

Maciej DOBRZAŃSKI, Andrzej JODŁOWSKI\*

## **OCZYSZCZANIE SZAREJ WODY POCHODZĄCEJ Z GOSPODARSTWA DOMOWEGO**

Przeprowadzone badania miały na celu określenie objętości szarej wody powstającej w wybranym gospodarstwie domowym, ocenę możliwości pokrycia zapotrzebowania na wodę do spłukiwania toalety wodą odzyskaną z szarej wody oraz sprawdzenie skuteczności zaproponowanego systemu oczyszczania. Badania zrealizowano wykorzystując zmodyfikowaną wewnętrzną instalację wodociągowo-kanalizacyjną w budynku jednorodzinny. Ścieki z umywalki, pralki i prysznicza były gromadzone i poddawane oczyszczaniu w układzie obejmującym filtrację wstępną i moduł ultrafiltracyjny. Obserwacje oraz pomiary prowadzono w ciągu 6 miesięcy. Stwierdzono, że odzyskana woda stwarzała możliwość jej ponownego wykorzystania do spłukiwania toalety.

### **1. WSTĘP**

Tematyka oszczędzania wody przeznaczonej do konsumpcji jest już szeroko rozpoznacona. Obecnie prowadzone są liczne badania nad różnymi systemami umożliwiającymi wykorzystanie wód deszczowych, szarej wody lub oczyszczonych ścieków do różnych celów, w tym do spłukiwania miski ustępowej. Ogólna efektywność systemów odzysku wody zależy między innymi od sprawności systemu podczyszczenia oraz bilansu ekonomiczno-objętościowego. Odpowiednie oczyszczenie szarej wody powstającej podczas wykorzystywania prysznicza, umywalki i pralki stwarza możliwość powtórnego jej wykorzystania, a tym samym zmniejszenia zapotrzebowania na wodę wodociągową [5, 8]. Jak podają Ghisi i Ferreira [3] możliwe jest osiągnięcie oszczędności na poziomie 29 do 35% całkowitego zużycia wody. Jednakże, aby uzyskać tak wysoką skuteczność należy prawidłowo zaprojektować układ instalacji dualnej i dodatkowo sprawdzić jego uwarunkowania ekonomiczne. W tym celu należy określić szereg parametrów charakteryzujących obiekt, w którym taki układ miałby być zainstalowany. Do najważniejszych parametrów można zaliczyć liczbę użytkowników, a także rodzaj przyborów sanitarnych,

---

\* Politechnika Łódzka, Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, al. Politechniki 6

częstotliwość korzystania z nich oraz objętość wody zużywanej w poszczególnych przyborach sanitarnych [6]. W literaturze można znaleźć niewiele opracowań dotyczących szczegółowego monitorowania zużycia wody i częstotliwości wykorzystywania poszczególnych przyborów sanitarnych w obiektach budowlanych. Należy zwrócić uwagę, że ten sam typ i rodzaj budynku będzie odznaczał się odmiennymi cechami z punktu widzenia zużycia wody również ze względu na czynności w nim wykonywane, styl życia użytkowników, charakter obiektu i warunki klimatyczne [2].

W pracy przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w istniejącym budynku jednorodzinnym, zamieszkałym przez czteroosobową rodzinę. Celem pracy było określenie ilości powstającej szarej wody oraz ocena możliwości pokrycia zapotrzebowania na wodę do spłukiwania toalety wodą odzyskaną z szarej wody. Badania prowadzono w ciągu sześciu miesięcy, wykorzystując kaskadowy system oczyszczania obejmujący filtrację przez filtry polipropylenowe i membranę ultrafiltracyjną [4].

## 2. METODYKA BADAŃ

### 2.1. PRZEDMIOT BADAŃ

Analizowany obiekt stanowił dom jednorodzinny oraz zainstalowany w nim układ odzysku wody. Budynek wyposażony był w umywalkę, prysznic, pralkę oraz miskę ustępową. Umywalka zaopatrzona była w baterię czerpalną z mieszaczem i perlatozem, przyłącze zimnej i ciepłej wody 1/2", prysznic wyposażony był w baterię z mieszaczem, hydromasażem oraz deszczownicę (przyłącze 1/2"). Woda do pralki doprowadzona była poprzez zawór czerpalny 1/2". Płuczka zbiornikowa o pojemności 9,5 dm<sup>3</sup> była wyposażona w systemem dualnego spłukiwania 3/6 dm<sup>3</sup>.

W obiekcie tym został zainstalowany układ odzysku wody zużytej w przyborach sanitarnych z wyłączeniem miski ustępowej. System składał się z dwóch zbiorników na surową i oczyszczoną szarą wodę, każdy o pojemności 110 dm<sup>3</sup>, kaskadowego układu filtracyjnego złożonego z filtra siatkowego samopłuczającego o prześwitach 100 µm, filtra polipropylenowego sznurkowego z porami o wielkości 20 µm oraz membrany kapilarnej 0,02 µm. Elementami układu były pompy zatapialne. Jedna z nich służyła do podawania nadawy do układu filtracyjnego, druga do dostarczania oczyszczonej szarej wody do spłuczki toaletowej. Z badań przeprowadzonych przez Jodłowskiego i Dobrzańskiego [4] wynika, że układ kaskadowych filtrów zapewnia odpowiednie oczyszczenie szarej wody pod warunkiem zastosowania dezynfekcji. Odzyskana woda była więc okresowo dezynfekowana podchlorynem sodowym.

System odzysku szarej wody działał w układzie 24 godzinnego gromadzenia szarej wody i oczyszczanie przebiegające w ciągu ok. 30 minut. Szarą wodę zbierano w zbiorniku, a następnie (o północy) poddawano oczyszczaniu. Odzyskaną wodę ma-

gazynowano w drugim zbiorniku, z którego następnie w ciągu dnia pobierano ją do spłukiwania toalety. W przypadku stwierdzenia przez układ sterujący nadmiernego spadku ciśnienia spowodowanego blokowaniem się filtrów, filtr siatkowy oraz filtr polipropylenowy stanowiące układ wstępnego oczyszczania poddawany był płukaniu w przeciwną stronę wodą wodociągową. Zabezpieczenie przed brakiem odzyskanej wody stanowiło zasilanie płuczki zbiornikowej w wodę wodociągową, a przed nadmiarem wody układ zabezpieczał przelew awaryjny zbiornika.

## 2.2. ANALIZA WIELKOŚCI I CZĘSTOTLIWOŚCI POBORU WODY

Zainstalowany w budynku system gromadzenia zużytej wody umożliwił szczegółową analizę objętości wytwarzanych wód zużytych z podziałem na poszczególne przybory sanitarne znajdujące się w budynku. W okresie 6 miesięcy każdy użytkownik zapisywał czas wykorzystywania (interwał 30 min) oraz rodzaj użytego przyboru w tym także miski ustępowej. Ilość wody zużytej do spłukiwania toalety określono na podstawie odnotowywanego przez użytkowników rodzaju użytego klawisza spłukiwania. Objętość wytwarzanych ścieków podczas korzystania z prysznicza, pralki oraz umywalki określono na podstawie obserwacji objętości zebranych odpływów w zbiorniku przeznaczonym do gromadzenia szarej wody.

Zebrane dane dotyczące zużycia wody pozwoliły na obliczenie jej jednostkowego zużycia w przyborze sanitarnym w czasie jednego użycia ( $U$ ) według równania (1)

$$U = \frac{V}{X} [dm^3 / użycie] \quad (1)$$

w którym:

$V$  – całkowita objętość zużytej wody w danym przyborze sanitarnym w okresie obserwacji [ $dm^3$ ]

$X$  – liczba użyc danego przyboru sanitarnego w okresie obserwacji [użycie]

Obliczono także wskaźnik częstotliwości korzystania z poszczególnych przyborów w ciągu doby przez jedną osobę ( $F$ ) według równania (2)

$$F = \frac{X}{t \cdot O} [użycie / os / d] \quad (2)$$

w którym:

$X$  – liczba użyc danego przyboru sanitarnego w okresie obserwacji [użycie]

$t$  – liczba dni w okresie obserwacji [d]

$O$  – liczba osób użytkujących system w okresie obserwacji [os.]

### 3. OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

#### 3.1. OBJĘTOŚĆ I STRUKTURA SZAREJ WODY POWSTAJĄCEJ W GOSPODARSTWIE DOMOWYM

Na podstawie obserwacji i danych pomiarowych przedstawionych w tabeli 1 można stwierdzić, że najczęściej korzystano z umywalki, używając jednak najmniej wody wodociągowej, jedynie ok. 10% ogólnego zużycia wody (rys 1). Najrzadziej natomiast wykorzystywano pralkę. Najwięcej szarej wody w badanym okresie powstało podczas korzystania z prysznicy (ok. 9962 dm<sup>3</sup>). Natomiast największą objętość zużytej wody wodociągowej w okresie badań odnotowano podczas korzystania z miski ustępowej (15685 dm<sup>3</sup>), z której skorzystano 2990 razy. Z ogólnej objętości wody zużytej podczas użytkowania wszystkich przyborów sanitarnych wynika, że 53% wody wodociągowej zużywano podczas korzystania z umywalki, pralki i prysznicy, czyli przyborów będących źródłem szarej wody, a tylko 47% wody zużyto do spłukiwania miski ustępowej. Biorąc pod uwagę cały analizowany okres 6 miesięcy w badanym obiekcie uzyskano pokrycie zapotrzebowania na wodę do spłukiwania toalety wytwarzaną szarą wodą. Można więc przypuszczać, że zastosowany system nie wymagał zasilania spłuczki wodą wodociągową.

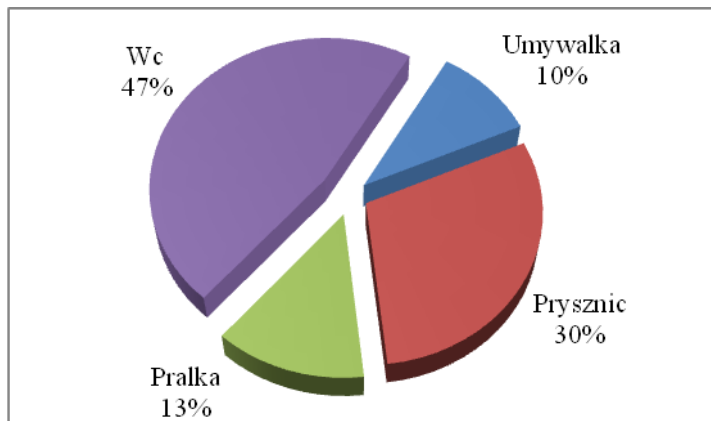
Tabela 1. Objętość szarej wody i liczba użyczeń przyborów sanitarnych w ciągu 6 miesięcy w gospodarstwie 4-os

Przybór sanitarny	Objętość szarej wody [dm <sup>3</sup> ]	Liczba użyczeń przyboru
Umywalka	3367	3823
Prysznic	9962	297
Pralka	4395	87
Razem	<u>17724</u>	---

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono znaczną różnicę między ilością wody zużywanej do spłukiwania miski ustępowej a danymi producenta. Według specyfikacji technicznej objętość ta powinna wynosić 3 i 6 dm<sup>3</sup>, w zależności od użytego klawisza spłukiwania. Natomiast w rzeczywistości zmierzono zużycie wynoszące odpowiednio 4,5 i 8,5 dm<sup>3</sup>. Wartości tych nie udało się zmniejszyć pomimo prób regulacji spłuczki. Rozbieżność ta miała decydujący wpływ na skumulowaną objętość zużywanej wody oraz stopień pokrycia zapotrzebowania na wodę do spłukiwania toalety wodą odzyskaną.

Ostatecznie na podstawie zebranych danych obliczono wskaźniki jednostkowego zużycia wody oraz częstotliwości korzystania z przyborów (tabela 2). Można stwierdzić, że w analizowanym gospodarstwie statystycznie jedna osoba korzystała z umy-

walki w ciągu doby aż 5,28 razy zużywając jednorazowo jedynie 0,88 dm<sup>3</sup> wody, z prysznic co drugi dzień zużywając 33,54 dm<sup>3</sup>, a z pralki co ok. 8 dni zużywając średnio 50,52 dm<sup>3</sup>.



Rys. 1. Bilans zużycia wody w gospodarstwie domowym z wyłączeniem kuchni

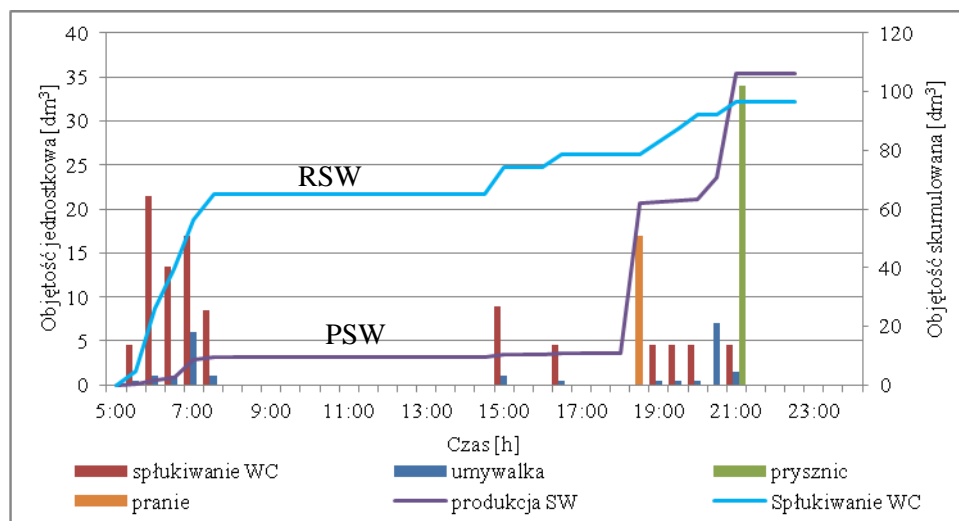
Uzyskane wartości są zbliżone do danych dostępnych w literaturze. Szeroki zakres wartości, jakie mogą przyjmować wskaźniki jednostkowego zużycia wody (np. dla umywalki może on wynosić od 3,2 do 8,7 dm<sup>3</sup>/(os·d) [8,9]), świadczy o znacznym zróżnicowaniu zużycia wody w budynkach mieszkalnych wynikającym z odmiennych przyzwyczajzeń użytkowników.

Tabela 2. Wartości wskaźników zużycia wody w 4-os gospodarstwie domowym z okresu 6 miesięcy

Rodzaj przyboru sanitarnego		Częstotliwość korzystania, użycie/(os·d)	Jednostkowe zużycie wody		
			dm <sup>3</sup> /użycie	dm <sup>3</sup> /(os·d)	dm <sup>3</sup> /(g.dom·d)
Umywarka	Wg tych badań	<b>5,28</b>	<b>0,88</b>	<b>4,65</b>	<b>18,60</b>
	Wg literatur.	3,80 [1]	2,00 [1]	3,20 – 8,70 [8,9]	-
Prysznic	Wg tych badań	<b>0,41</b>	<b>33,54</b>	<b>13,75</b>	<b>55,04</b>
	Wg literatur.	0,23 – 0,60 [1,5]	22,60 – 35,00 [1,5]	44,20 – 56,30 [8,9]	-
Pralka	Wg tych badań	<b>0,12</b>	<b>50,52</b>	<b>6,06</b>	<b>24,28</b>
	Wg literatur.	0,12 [5]	60 [5]	14,40 – 53,00 [8,9]	-
Wc	Wg tych badań	<b>4,13</b>	<b>5,25</b>	<b>21,68</b>	<b>86,66</b>
	Wg literatur.	3,70 – 4,10 [1,5]	8,90 – 9,50 [1,5]	14,50 – 33,00 [8,9]	-

## 3.2. WYKORZYSTANIE WODY ODZYSKANEJ DO SPLUKIWANIA TOALETY

Na rys. 2 i 3 przedstawiono zużycie wody podczas korzystania z poszczególnych przyborów w ciągu doby. Można zauważyć, że w dniach roboczych największe zużycie szarej wody do splukiwania toalety przypadało na godziny poranne. Natomiast najwięcej szarej wody (ponad 81%) powstawało po godzinie 18:00, kiedy to korzystano z pralki oraz prysznica. Ilość szarej wody pochodzącej z umywalki była w całym okresie niewielka i w większości przypadków wiązała się z korzystaniem z toalety. W przypadku dni wolnych od pracy rozkład zużycia wody splukiwania miski ustępowej i korzystania z umywalki był bardziej równomierny w ciągu całego dnia.

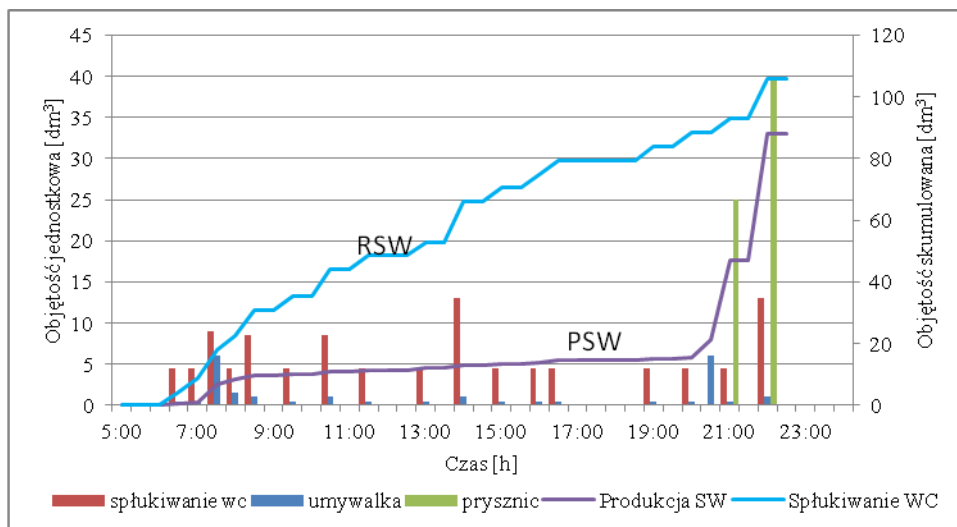


Rys. 2. Objętość jednostkowa zużywanego wody w poszczególnych przyborach sanitarnych oraz objętość produkcji i rozbioru szarej wody w czasie dnia (czwartek, interwał 30 min)

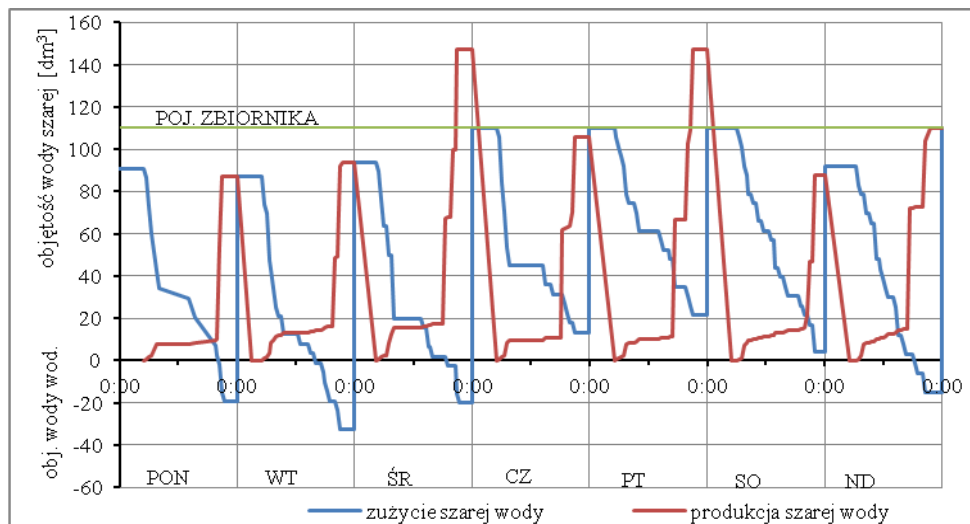
Rozpatrując przedstawione wartości skumulowane objętości szarej wody i wody wykorzystanej do splukiwania WC w wybranych dniach tygodnia (rys. 2 i 3), stwierdzono niedobór szarej wody w stosunku do objętości wody zużywanego do splukiwania toalety w ciągu doby. Obrazuje to linia produkcji szarej wody (PSW) biegnąca poniżej linii odnoszącej się do rozbioru RSW. Na podstawie zaobserwowanych różnic w okresach produkcji i rozbioru szarej wody w ciągu dnia stwierdzono, że ważnym elementem układu był zbiornik przeznaczony do gromadzenia szarej wody. Zapewniając magazynowanie szarej wody stanowił element wyrównawczy między rozbiorem a produkcją.

Stwierdzono jednak, że nie w każdym dniu tygodnia objętość szarej wody wystarczała na pokrycie zapotrzebowania na wodę do splukiwania miski ustępowej pomimo zainstalowanego zbiornika wyrównawczego. Jak wynika z przedstawionych

na rys. 4 skumulowanych objętości produkcji i zużycia szarej wody w ciągu przykładowego tygodnia, w badanym okresie występowały dni, w których odnotowano niedobór objętości szarej wody (oznaczony jako wartości ujemne na rys. 4). Spowodowane to było niewielką objętością wytworzonej szarej wody w dniu poprzedzającym oraz zwiększoną częstotliwością korzystania z miski ustępowej.



Rys. 3. Objętość jednostkowa zużywanej wody w poszczególnych przyborach sanitarnych oraz objętość produkcji i rozbioru szarej wody w czasie dnia (sobota, interwał 30 min)



Rys. 4. Zmiana objętości produkowanej i zużywanej szarej wody w czasie przykładowego tygodnia

Ponadto odnotowano również dni, w których objętość wyprodukowanej szarej wody w ciągu doby była większa niż maksymalna pojemność zastosowanego zbiornika (środa, piątek). Wówczas nadmiar wody był odprowadzany do kanalizacji poprzez przelew w zbiorniku. Jednak w większości dni w analizowanym okresie objętość odzyskanej wody nie przekraczała 110 dm<sup>3</sup>.

### 3.3. SKUTECZNOŚĆ OCZYSZCZANIA SZAREJ WODY

Ważnym problemem funkcjonowania dualnych instalacji wodociągowo-kanalizacyjnych jest skuteczność oczyszczania szarej wody. Nieodpowiednio oczyszczona szara woda może powodować szereg problemów eksploatacyjnych, takich jak blokowanie przewodów dystrybucyjnych, pomp czy utrudniać utrzymanie czystości misek ustępowych. Może również negatywnie wpływać na zdrowie użytkowników z uwagi na obecność mikroorganizmów chorobotwórczych, mogących pojawić się w aerozolu podczas splukiwania miski ustępowej. Dlatego należy zapewnić wysoki stopień oczyszczania oraz krótki czas przetrzymania nieoczyszczonej szarej wody. W tym celu w zainstalowanym systemie zastosowano układ kaskadowy filtrów.

Tabela 3. Stopień zatrzymania zanieczyszczeń po procesach oczyszczania szarej wody

Wskaźniki	Surowa szara woda	Filtr 100 µm + Filtr 20 µm	Stopień usuwania	Membrana kapilarna 0,02 µm	Calkowity stopień usuwania	Niemieckie wytyczne dot. jakości wody do splukiwania toalet [7]	
		oczyszczona	[%]	oczyszczona	[%]		
pH	7,33	7,29	<b>1</b>	<b>7,23</b>	<b>1</b>	<b>6-9</b>	
ChZT <sub>Cr</sub> , mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	1240	1000	<b>19</b>	400	<b>68</b>	-	
BZT <sub>5</sub> , mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	305	210	<b>31</b>	<b>19</b>	<b>94</b>	<b>20</b>	
Barwa, mg Pt/dm <sup>3</sup>	820	620	<b>24</b>	65	<b>92</b>	-	
Mętność, NTU	114	56	<b>51</b>	<b>0,39</b>	<b>100</b>	<b>1-2 / 20</b>	
OWO, mg/dm <sup>3</sup>	275	238	<b>13</b>	65,2	<b>76</b>	-	
Przewodność, µS/cm	675	670	<b>1</b>	600	<b>11</b>	-	
Detergenty mg/dm <sup>3</sup>	anionowe	150,2	132,2	<b>12</b>	22,7	<b>85</b>	-
	niejonowe	0,08	0,06	<b>25</b>	0,01	<b>88</b>	-
Zawiesiny mg/dm <sup>3</sup>	360	47	<b>87</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>30</b>	
Azot ogólny, mg N/dm <sup>3</sup>	6,2	5,1	<b>18</b>	0	<b>100</b>	-	

Pierwszy etap stanowiący filtrację wstępną spełnił swoje zadanie zatrzymując głównie zawiesiny (w 87%) oraz eliminując mętność (w 51%). Zabezpieczyło to przed nadmiernym blokowaniem membrany ultrafiltracyjnej, która pozwoliła ostatecznie na



zatrzymanie zanieczyszczeń charakteryzowanych wskaźnikiem BZT<sub>5</sub> w 94%, mętność i zawiesiny w 100% oraz detergenty w 88%.

Z wyników, przeprowadzonych analiz fizyko-chemicznych oczyszczonej szarej wody wynika, że odzyskana woda spełniała niemieckie wytyczne [7] dotyczące wody do spłukiwania toalet po uwzględnieniu dezynfekcji.

#### 4. WNIOSKI

1. Ze względu na przyzwyczajenia i obyczaje użytkowników, eksploatowane obiekty budowlane mają zróżnicowaną charakterystykę pod względem wskaźników zużycia wody, na co wskazały różnice pomiędzy wartościami wskaźników określonych w trakcie przeprowadzonych badań a wartościami podanymi w literaturze.
2. Ilość powstającej szarej wody pokrywała na ogół zapotrzebowanie na wodę do spłukiwania toalety.
3. Najwięcej szarej wody w całym okresie badawczym powstawało podczas korzystania z prysznicza, następnie pralki, najmniej zaś z umywalki.
4. Z uwagi na zaobserwowany niedobór szarej wody w stosunku do jej rozbioru w czasie doby istotny elementem systemu był zastosowany zbiornik magazynujący szarą wodę. Odpowiednio dobrana objętość stanowiła bufor pomiędzy największym rozbiorem odzyskanej wody w godzinach porannych i największą jej produkcją w godzinach wieczornych.
5. W celu prawidłowego zaprojektowania systemu odzysku szarej wody należy w odniesieniu do obiektu istniejącego przeprowadzić szczegółową analizę zużycia wody, a w przypadku obiektu nowo projektowanego należy przyjąć wskaźniki pochodzące z danych literaturowych określonych dla obiektu o podobnej funkcji.
6. Określone w toku badań wskaźniki pozwolą na dokładną analizę ekonomiczną systemu i dobór wielkości urządzeń do oczyszczania szarej wody.
7. Jakość wody odzyskanej w wyniku zastosowania kaskadowego układu filtracyjnego obejmującego filtr samopłuczący, filtr polipropylenowy oraz moduł UF, spełniania wymagania określone w niemieckich wytycznych dotyczących wody przeznaczonej do spłukiwania toalety po uwzględnieniu warunku jej dezynfekcji.

Badania naukowe zostały wykonane w ramach realizacji Projektu „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju” współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

## LITERATURA

- [1] ANTONOPOULOU G., KIRKOU A., STASINAKIS A.S.; *Quantitative and qualitative grey-water characterization in Greek households and investigation of their treatment using physico-chemical methods*; Science of the Total Environment; 454–455 (2013) 426–432.
- [2] DONNER E, ERIKSSON E, REVITT DM, SCHOLEL L, LUTZHOFT H, LEDIN A., *Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems*, Sci Total Environ (2010) 408:2444–51.
- [3] GHISI, E., FERREIRA, D.F., *Potential for potable water savings by using rainwater and grey-water in a multi-storey residential building in southern Brazil*, Build. Environ. (2007) 42, 2512-2522.
- [4] JODŁOWSKI A., DOBRZAŃSKI M.; *Zastosowanie filtrów narurowych i membran ultrafiltracyjnych do oczyszczania wody z prania*; IV Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna „Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody”; Gliwice 2013: 3: 199-209.
- [5] MUTHUKUMARANA S., BASKARANA K., SEXTON N.; *Quantification of potable water savings by residential water conservation and reuse – A case study*; Resources, Conservation and Recycling; 55 (2011) 945– 952.
- [6] MOURAD K.A., BERNDTSSON J.C., BERNDTSSON R.; *Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria*; Journal of Environmental Management; 92 (2011) 2447-2453.
- [7] WHEATLEY, A. D., SURENDRAN, S.; *Grey water reclamation for non-potable reuse*; J. CIWEM, 12 (1998), 406-413.
- [8] WILLIS R., STEWART R.A., GIURCO D.P., TALEBPOUR M.R., MOUSAVINEJAD A.; *End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices*; Journal of Cleaner Production; xxx (2011) 1-9.
- [9] WILLIS R., STEWART R.A., PANUWATWANICH K., CAPATI B., GIURCO D.; *Gold Coast domestic water end use study*; Water: Journal of Australian Water Association; 36 (2009) 79-85.

## GREY WATER TREATMENT FROM THE HOUSEHOLD

The research aimed to determine the volume of grey water produced in the selected household, assess the possibility of covering demand for water for flushing the toilet with water recovered and verify the effectiveness of the proposed treatment system. The research was carried out using a plumbing system in a 4-person family building. Grey water from sinks, washing machines and showers were accumulated and subjected to the treatment in the system consisted of pre-filtration and ultrafiltration. Investigations were carried within 6 months. Recovered water posed the possibility of re-using for flushing the toilet.