

STRESZCZENIE

Zrównoważona gospodarka wodna zakłada między innymi zmniejszenie zużycia wody poprzez powtórne wykorzystanie wody odzyskanej ze ścieków w miejscu ich wytworzenia. Odpowiednie oczyszczenie szarych ścieków powstających podczas korzystania z prysznicy, umywalki i pralki stwarza możliwość powtórzenia ich wykorzystania, a tym samym zmniejszenie zapotrzebowania na wodę o 30 do 35 % całkowitego zużycia. Jednakże, aby uzyskać taką oszczędność należy prawidłowo zaprojektować układ instalacji dualnej. Ogólna efektywność systemów odzysku wody zależy między innymi od rodzaju wybranej technologii, sprawności systemu podczyszczenia oraz od analizy efektywności ekonomicznej. 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, częstotliwość korzystania z nich oraz objętość zużywanej w nich wody.

W pracy przedstawiono wyniki analizy zużycia wody w gospodarstwie domowym oraz obiektach hotelowych, pod względem możliwości pokrycia zapotrzebowania na wodę do spłukiwania toalety przez wodę odzyskaną z szarych ścieków. Badania w budynku jednorodzinym prowadzono w okresie 1,5 roku, natomiast w przypadku obiektów hotelowych dane pozyskano od przedstawicieli obiektów. Stwierdzono, w przypadku budynku jednorodzinego wydajność systemu na poziomie ok. 102 %, a obiektów hotelowych ok. 93 %.

Przeprowadzono również badania laboratoryjne mające na celu ocenę skuteczności oczyszczania szarych ścieków w kaskadowym układzie filtracyjnym obejmującym filtr polipropylenowy narurowy (PCF) oraz membranę ultrafiltracyjną (UF). Podjęto próbę interpretowania wyników badań nad wstępnym oczyszczaniem modelowych szarych ścieków z użyciem filtrów PCF o mikronażu 20, 50 i 100 μm w oparciu o równanie Ruth'a. Z uwagi na uzyskanie negatywnego odwzorowania danych doświadczalnych poprzez model Ruth'a, sprawdzono możliwość zastosowania modelu relaksacyjnego do opisu procesu. Stwierdzono, że model relaksacyjny dokładnie odzwierciedla przebieg procesu filtracji wstępnej na filtrach PCF. Ostatecznie zastosowanie PCF umożliwiło, przede wszystkim całkowite usuwanie zawiesin, zabezpieczając moduł UF przed nadmiernym blokowaniem.

Natomiast to opisu kinetyki UF na membranach o granicznej masie molowej 10, 100 i 1000 kDa wykorzystano modele Hermii, z których model relaksacyjny najlepiej odzwierciedlił przebieg procesu. Proces UF analizowano wykorzystując również model hydrauliczny, opierający się na oporze membrany i oporach wynikających z blokowania przegrody filtracyjnej. W obu przypadkach uzyskano pozytywny wynik zastosowania modeli do opisu przebiegu ultrafiltracji. Ponadto zastosowany model hydrauliczny pozwolił zaobserwować zmianę oporów

membrany przy różnej temperaturze i zróżnicowanym ciśnieniu transmembranowym (TMP). Zbadano wpływ (TMP) i temperatury nadawy na wielkość strumienia permeatu oraz skuteczność oczyszczania szarych ścieków. Stwierdzono silny wpływ temperatury i TMP na skuteczność oczyszczania szarych ścieków oraz na wielkość strumienia permeatu. Przy podwyższonej temperaturze nadawy obserwowano wzrost strumienia permeatu oraz obniżoną skuteczność oczyszczania. Natomiast przy wyższym TMP wzrasta zarówno strumień roztworu jak i skuteczność oczyszczania. Zastosowanie procesu UF pozwoliło na oczyszczenie szarych ścieków w stopniu umożliwiającym ponowne wykorzystanie wody odzyskanej do celów niekonsumpcyjnych.

Pozytywne wyniki badań laboratoryjnych nad technologią filtracyjnego oczyszczania szarych ścieków, doprowadziły do skonstruowania kaskadowego systemu oczyszczania obejmującego filtrację przez filtr siatkowy, polipropylenowy i membranę kapilarną UF. Układ został zainstalowany w budynku jednorodzinnym. Na podstawie obserwacji pracy układu określono szereg parametrów eksploatacyjnych, takich jak częstotliwość płukania lub wymiany filtrów. Stwierdzono również stopień oczyszczenia szarych ścieków umożliwiający powtórne wykorzystanie wody odzyskanej do spłukiwania miski ustępowej.

Rosnąca od kilku lat w szybkim tempie liczba budynków jednorodzinnych, skłoniła do przeanalizowania w niniejszej pracy opłacalności zastosowania systemu dualnego w tych obiektach. W analizie efektywności ekonomicznej uwzględniono wpływ cen dostaw wody i odprowadzania ścieków, liczby użytkowników oraz lokalizację budynku na wskaźniki opłacalności inwestycji w odniesieniu do domu jednorodzinnego. Analizie poddano również trzy rzeczywiste obiekty hotelowe i jeden obiekt oparty na danych literaturowych.

Do oceny ekonomicznej przedsięwzięcia wykorzystano wskaźniki w postaci prostego czasu zwrotu (SPBT, ang. *Simple Payback Time*) oraz wskaźnika opłacalności inwestycji (NPV, ang. *Net Present Value*). Określono koszt systemu na poziomie prawie 8 tys. zł netto dla budynku jednorodzinnego oraz ok. 40 - 53 tys. zł netto dla hoteli. Na podstawie wyników przeprowadzonej analizy stwierdzono, że największy udział w kosztach eksploatacyjnych w przypadku małego obiektu stanowią koszty wymiany filtrów, które są głównym elementem całego układu. Pozostałe koszty związane z płukaniem czy pompowaniem były w porównaniu do nich mniej istotne. Ostatecznie dla domu jednorodzinnego uzyskano wskaźnik opłacalności inwestycji (NPV) o wartości ujemnej, co świadczy o nieopłacalności stosowania systemu odzysku wody z szarych ścieków przy obecnej cenie wody na terenie Łodzi. Odmiennie kształtuje się sytuacja w przypadku hoteli. Dla obiektów tych uzyskano *SPBT* na poziomie 4 - 7 lat, co przy założonych 15 latach „życia systemu” daje od 8 do 11 lat czerpania zysków finansowych z inwestycji. Dowodzi tego również dodatnia wartość wskaźnika NPV.

Dobrowolny