

dr hab. inż. Tadeusz Siwiec, prof. SGGW  
Zakład Wodociągów i Kanalizacji  
Katedra Inżynierii Budowlanej  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
ul. Nowoursynowska 159  
02-776 Warszawa

Warszawa 2016-05-19

## **RECENZJA**

rozprawy doktorskiej **mgra inż. Macieja Dobrzańskiego**  
pt. **„Analiza przebiegu oczyszczania szarych ścieków z wykorzystaniem  
filtrów narurowych i membran ultrafiltracyjnych”**

### **Podstawa opracowania**

Zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej Pana prof. dr. hab. inż. Dariusza Gawina z dnia 09.05.2016 r..

### **Ogólne omówienie rozprawy**

Tematyka podjęta w rozprawie doktorskiej jest istotnej wagi, ze względu na aspekt zarówno naukowy jak i praktyczny. Związana jest z powszechnie obserwowaną tendencją oszczędzania wody. Ścieki „szare” mogą być używane, jako substytut powszechnie używanej do spłukiwania toalet wody wodociągowej, jednak, ze względu na znaczne zróżnicowanie jakościowe, oraz możliwość zagniwania powinny być podczyszczone do właściwego poziomu. Istotny wpływ ma tutaj nierównomierność, także sumaryczna ilość powstających ścieków szarych oraz nierównomierność czasowa spłukiwania toalet. O ile techniczne rozwiązania systemów spłukiwania toalet nie stwarzają istotnych problemów, o tyle, poprawienie jakości ścieków szarych do takiego stopnia, aby były bezpieczne dla ludzi, oraz nie powodowały dyskomfortu mieszkańców nie jest łatwe.

Analizie zjawisk oraz badaniu wpływu różnych parametrów na efektywności procesów filtracyjnych szarych ścieków została poświęcona rozprawa doktorska mgra inż. Macieja Dobrzańskiego.

Merytoryczną część pracy stanowi 10 rozdziałów, z których pierwszy jest wprowadzeniem czytelnika we właściwą tematykę, a drugi zawiera literaturowe informacje o dotychczasowych badaniach nad szacowaniem ilości ścieków szarych oraz o stosowanych

procesach ich uzdatniania. Rozdział 3 to podstawy teoretyczne procesu filtracji, ze szczególnym uwzględnieniem kinetycznego ich modelowania. Kolejny 4 rozdział obejmuje zestaw wskaźników ekonomicznej efektywności i próby oceny opłacalności odzysku wody z szarych ścieków. Rozdział 5 zawiera dobrze sformułowaną tezę, a także przedstawiony w punktach zakres pracy.

Od rozdziału 6 rozpoczyna się właściwa, naukowa część pracy. Rozdział ten zawiera metodykę badań, którą podzielono na 7 podrozdziałów obejmujących: opis badanych ścieków, zastosowane sposoby pomiarów objętościowych ścieków i odzyskanej wody, opis stanowiska badawczego, metodyki badań analitycznych oraz opracowań statystycznych wyników, sposoby wykorzystania modeli kinetycznych, oraz ekonomiczne podejście do oceny efektywności. W ocenianej pracy Autor postąpił dość nietypowo dodając rozdział 7 zatytułowany „Przebieg badań”. Często informacje tu zawarte są dołączane częściowo do metodyki, a częściowo do omawianych wyników. Z punktu widzenia czytelnika rozprawy uważam, że podjęta decyzja była ze wszech miar trafna, gdyż przez taki podział pracę czyta się z lepszym zrozumieniem. Rozdział 8 liczący 46 stron, zawierający wyniki badań oraz rozdział 9 liczący 14 stron, zawierający omówienie tych wyników stanowią najważniejszą i najcenniejszą część pracy. Wyniki badań są bardzo wszechstronne oraz bardzo liczne. W tym rozdziale należy wyróżnić 4 zasadnicze części.

- Badania częstotliwości użytkowania poszczególnych przyborów sanitarnych, czasu i każdorazowego ich użytkowania oraz ilości wykorzystanej wody. Badania realizowano przede wszystkim dla domu jednorodzinnego, oraz w mniejszym zakresie w hotelach o zróżnicowanym komforcie.
- Wstępne badania skuteczności filtracji z wykorzystaniem prostych filtrów sznurkowych i piankowych oraz ultrafiltracji i podjęcia próby modelowania matematycznego tych procesów.
- Badanie wpływu parametrów membrany ultrafiltracyjnej oraz innych parametrów procesowych na skuteczność podczyszczania szarych ścieków.
- Analiza kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych pozwalająca na ocenę sensowności zastosowań praktycznych.

Parametrami weryfikacyjnymi procesów były: ChZT, BZT<sub>5</sub>, OWO, mętność, barwa, zawiesiny ogólne, pH, przewodność, a także stężenia detergentów anionowych i niejonowych oraz liczba kolonii E. Coli. Zmiennymi niezależnymi były wielkości por poszczególnych

membran filtracyjnych, temperatura ścieków, ciśnienie transmembranowe, a także rodzaje szarych ścieków.

Rozdział 9 zawiera szczegółową dyskusję wyników, natomiast rozdział 10 najważniejsze wnioski ogólne. Kończącą część stanowią literatura, spis rysunków i tabel oraz załączniki zawierające zdjęcia i rysunki: analizowanych filtrów, stanowiska pomiarowego oraz informacje o zastosowanym dodatku do ścieków, to jest pyłe bawełnianym.

Rozprawa obejmuje 129 stron spójnego tekstu, 3 strony skrótów i oznaczeń, 4 strony streszczenia w języku polskim i angielskim, 5 stron, na których zawarto spis piśmiennictwa, 4 strony zawierające spis rysunków i tabel oraz 3 strony na których znajdują się załączniki. W tekście spójnym znajduje się 64 tabele i 60 rysunków. Literatura obejmuje 72 pozycje, z których 53 to pozycje angielskojęzyczne a pozostałe 19 to polskojęzyczne. Do spisu piśmiennictwa należałoby zaliczyć również 13 stron internetowych i 14 norm.

Główny cel pracy i hipotezy badawcze skierowane były na uzasadnienie sensowności stosowania procesów filtracyjnych, jako metod skutecznego i efektywnego podczyszczania ścieków szarych, do takiego stopnia, aby można je było powtórnie wykorzystać.

Wykonane przez Doktoranta badania mogą wzbudzać uznanie patrząc na ich wszechstronność i wnikliwość, szczególnie w zakresie analizowania wzajemnych powiązań parametrów. Na podkreślenie zasługują osiągnięcia Doktoranta w pokonywaniu trudności jakie powstają podczas badań eksperymentalnych, a które wymagają ogromnej pracowitości.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta zaliczam.

1. Na szczególne podkreślenie zasługuje wykonanie w długim, bo 1,5 rocznym okresie badań częstotliwości i czasu użytkowania poszczególnych przyborów sanitarnych w domu mieszkalnym oraz mierzeniu ilości zużytej wody. Badania te wymagały ogromnej dyscypliny domowników w notowaniu poszczególnych informacji, lecz osiągnięto wspaniały efekt końcowy. Uzyskane informacje posłużyły do weryfikacji doniesień literaturowych i powinny zostać opublikowane, gdyż mogą stanowić bardzo przydatne informacje do wykorzystania zarówno w badaniach jak i zagadnieniach praktycznych.
2. Wykazanie, że filtry narurowe mogą stanowić jedynie urządzenia do podczyszczania wstępnego, gdyż ich efektywność jest wysoce niezadawalająca. Drugim stopniem powinna być ultrafiltracja przez membrany o odpowiednio dostosowanych masach molowych.
3. Wykazanie, że w opisach procesów bardzo dobrze sprawdza się model relaksacyjny w modelowaniu zmian wielkości strumienia przepływu szarych ścieków przez membrany. Uzyskany wniosek wynikał z konfrontacji obliczeń modelowych z wynikami pomiarów.

4. Wykazanie, że istotny wpływ na efektywność filtrowania ścieków szarych przez membrany ma ciśnienie transmembranowe oraz temperatura ścieków.
5. Bardzo wartościowe są obliczenia ekonomiczne odniesione do opłacalności stosowania systemu powtórnego wykorzystania szarych ścieków. Wykazano, że ze wszech miar opłacalne jest stosowanie systemu powtórnego wykorzystania szarych ścieków w obiektach dużych, typu hotelowego, natomiast nie jest opłacalne przy obecnych cenach wody w domach jednorodzinnych.
6. Na uwypuklenie zasługuje spostrzeżenie, że Doktorant podczas wykonywania badań myśli i analizuje otrzymywane sukcesywnie wyniki. W niektórych sytuacjach (str.99 rys. 41 oraz tabele 59 i 60) można było zauważyć, że zareagował na nietypową sytuację, w której podczas eksperymentu zmienił temperaturę uzyskując dodatkowy wniosek..

### **Uwagi krytyczne i dyskusyjne o charakterze merytorycznym i edytorskim**

#### **Dyskusyjne uwagi merytoryczne**

- Str. 80 – W tabeli 25 – można zauważyć nietypowy rozkład zużycia wody ciepłej i zimnej, prysznic+pralka+umywalka+WC = 69,5 m<sup>3</sup> ZW, a tylko 25,82 m<sup>3</sup> CW. Takie sytuacje występują, gdy temperatura wody ciepłej jest bardzo wysoka. Czy tak było w tym przypadku?
- Str. 87 – Tabela 32, Rys. 25 – analizując liczby przy jednostkach m<sup>3</sup>/m-n-m-c oraz m<sup>3</sup>/os-m-c można zauważyć bardzo małe obciążenie hoteli. Wygląda na to, że każde miejsce noclegowe gościło średnio 5÷6 osobodni/m-c. Czy moje wnioski są słuszne?
- Str. 87 – Czy wniosek zapisany pod Rys. 25 jest słuszny? Goście hotelowi zachowują się losowo, dlatego chyba między ich zachowaniami trudno doszukiwać się korelacji. Takowa może wystąpić jeśli np. w hotelu organizowana jest konferencja i wówczas ich zachowywanie jest zorganizowane.
- Str. 98 – Rys. 39 – Dlaczego wydajność filtracji membrany 100 kDa w obu temperaturach była najmniejsza? Czy mogło to być związane z niekorzystną relacją wielkości i/lub kształtu cząstek zawieszonych w stosunku wielkości por w membranach?

#### **Uwagi edytorskie**

- Str. 7 – 6 wiersz od dołu – nie zaczyna się akapitu od spójnika „Natomiast”.

- Str. 16 – tabela – w jednostkach zamiast gwiazdki „\*” powinien być znak mnożenia „•”, szczególnie, że gwiazdki użyto w oznaczaniu klasy hoteli. Tak zapisane jednostki występują w wielu miejscach.
- Str. 17 – Rys. 3. - legenda jest niepełna.
- Str. 28 – 14 – 12 wiersz od dołu – zdanie „Ostatnie to ....” Jest niezrozumiałe.
- Str. 35 – nie należy zmieniać nazewnictwa na rysunku (Rys. 9) i w opisie.
- Str. 41 – wzór (12) – brak wyjaśnienia, co oznacza  $\epsilon$ , brak także  $\rho$  i  $g$ , ale te wielkości można się domyśleć.
- Str. 41 – brak jest zdefiniowania średnicy hydraulicznej kanalików
- Str. 42 – 18 wiersz od góry – jest szybkość filtracji, a powinno być natężenie przepływu, ponieważ  $V$  jest objętością.
- Str. 60 – 2 ÷ 1 wiersz od dołu - jak należy interpretować wyrażenie „Autorzy stwierdzili...” ?
- Str. 63 – 14 wiersz od dołu – coś jest nie w porządku w zdaniu „nad zaproponowanym układu...”
- Str. 64 – 2 wiersz od góry – jest „powstał” raczej powinno być „powstała”
- Str. 69 – 10 ÷ 9 wiersz od dołu. Co to znaczy „... zwiększa efekt filtracji...”
- Str. 71 – 12 wiersz od góry - jest „W składał” powinno być „W skład”
- Str. 88 – nagłówek tabeli 33 - jest „z prania kontrolne” powinno być „z prania kontrolnego”
- Str. 120 – 2 wiersz od góry - jest „określone” powinno być „określono”
- Str. 121 – Tabela 57 – brak wyjaśnień niektórych części składowych utrudnia jej interpretację. W niektórych rzędach występują 2 lub 3 liczby.
- Str. 129 – 1 wiersz od góry - jest „stabilizowało” powinno być „stabilizował”
- Str. 129 – Opis Rys. 60 (legenda) nie jest dostosowana do osi wykresu.
- Str. 134, 135, 136 – Tabele 62, 63, 64 brak jest skierowań do literatury. Skąd zaczerpnięto wytyczne z RFN, Omanu, Jordanii, Chin, W. Brytanii?
- Str. 137 – 6 wiersz od dołu - jest „łódzki” powinno być „łódzkim”

Na zakończenie licząc na dyskusję podczas obrony chcę przedstawić pytanie, które nasunęło mi się podczas czytania niniejszej pracy.

*Analizując przebiegi punktów pomiarowych zamieszczonych na rys. 28 i 29 nie do końca rozumiem zjawiska jakie występują w filtrach narurowych. Wykres (rys. 28) pokazuje produkcję wody w funkcji czasu pracy filtru. Początkowo tendencja jest rosnąca parabolicznie, następnie krótkotrwały spadek wydajności (przełamanie krzywej) i dalej wzrost niemal liniowy. Co dzieje się w punkcie przełamania. Nie jest realne, aby dłuższej perspektywie utrzymywał się liniowy wzrost, gdyż zatrzymywane osady muszą kolmatować filtr, chyba że występują „przebicia”. W obszarze wzrostu parabolicznego wydaje się, że na Rys. 29 powinien być spadek, a nie wzrost wartości np. dla filtra sznurkowego 50  $\mu\text{m}$ .*

### **Wniosek końcowy**

Rozprawę doktorską mgr inż. Macieja Dobrzańskiego uznaję za bardzo sumienne, wnikliwe i konsekwentnie przeprowadzone opracowanie podjętego problemu badawczego. Cel pracy został osiągnięty, a teza badawcza udowodniona. Doktorant wykazał należyte przygotowanie teoretyczne i praktyczne, znajomość współczesnej literatury dotyczącej tematu pracy, oraz umiejętność zaplanowania i przeprowadzenia badań. Autor pokazał, że potrafi prawidłowo i wnikliwie zinterpretować uzyskane wyniki.

Niewątpliwą zaletą niniejszej rozprawy jest to, że stanowi całościowe podejście od wykonania pomiarów ilościowych uzasadniających sens działań, przez filtrację wstępną, doczyszczanie ścieków dożądanego poziomu po analizę ekonomiczną. Z tego względu uważam ją za dobrze osadzone w realiach praktycznych dzieło naukowe.

Mając zatem na uwadze podaną wyżej pozytywną ocenę osiągnięć Autora rozprawy stwierdzam, że praca pt. „Analiza przebiegu oczyszczania szarych ścieków z wykorzystaniem filtrów narurowych i membran ultrafiltracyjnych” spełnia warunki obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595), z późniejszymi zmianami z dnia 18 marca 2011 r. (Dz. U. Nr 84, poz. 455), dlatego wnioskuję o jej przyjęcie, jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgra inż. Macieja Dobrzańskiego do publicznej obrony przed Komisją wyłonioną z Rady Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej.

dr hab. inż. Tadeusz Siwić, prof. SGGW