

dr hab. inż. Małgorzata Wolska, profesor uczelni
Politechnika Wrocławska,
Wydział Inżynierii Środowiska,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
e-mail: malgorzata.wolska@pwr.edu.pl

Wrocław, 25.10.2023 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Iwony Lasockiej-Gomuły
pt. *Ograniczenie zmian jakości wody
w rozproszonym systemie dystrybucyjnym miasta Poznania*

Promotor rozprawy: dr hab. Joanna Świątek, profesor UAM

Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, zawarte w piśmie z dnia 29.09.2023 r.

Celowość podjęcia tematu

Problem zmian jakości wody w systemie dystrybucji, a w szczególności jej pogorszenia skutkującego zagrożeniem zdrowotnym związanym z jej spożyciem, nie jest nowy. Pogorszenie jakości wody w kontekście skażenia mikrobiologicznego wskazywane jest przez WHO jako większe zagrożenie w stosunku do aspektów zmian składu chemicznego wody i właśnie zapewnienie stabilności biologicznej wody dostarczanej do odbiorców powinno być celem nadrzędnym przedsiębiorstw wodociągowych. Akty prawne dotyczące jakości wody przeznaczonej do spożycia dopuszczają występowanie w niej mikroorganizmów, co niesie za sobą zagrożenie obecnością organizmów patogennych. Właśnie skażenie patogenami było przyczyną wielu pandemii na całym świecie. Obecnie nie odnotowuje się epidemii wynikających z zanieczyszczenia wody, jednak obecność mikroorganizmów w wodzie przeznaczonej do spożycia jest wskazywana jako czynnik odpowiedzialny za zachorowania i zgony na całym świecie. Eliminacja tego problemu wymaga analizy i kontroli całego układu zaopatrzenia w wodę - od jej ujęcia, aż do miejsca czerpania przez odbiorców, z jednoczesnym

monitoringiem wszystkich czynników stymulujących i inhibitujących rozwój mikroorganizmów.

Jednak obecny stan wiedzy nie pozwala na kompleksową ocenę czynników wpływających na przemiany zachodzące w systemach zaopatrzenia w wodę. Dlatego zasadne było podjęcie tematu oceny możliwości ograniczenia zagrożeń związanych ze zmianą jakości wody w systemach dystrybucji, zwłaszcza w kontekście aplikacyjnym.

Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa liczy 211 stron, zawiera 92 rysunki, 39 tabel, a literatura obejmuje 229 pozycji.

Praca została podzielona na dwie zasadnicze części:

- część literaturową, która wraz z poprzedzającym ją krótkim *Wstępem* liczy 61 stron;
- część badawczą (poprzedzoną opisem tezy i celu badań), którą Doktorantka zaprezentowała na 135 stronach.

Do pracy zostały dołączone streszczenia w języku polskim i angielskim.

Warto podkreślić, że wykorzystana przez Doktorantkę bibliografia stworzyła solidną bazę do analizy stanu wiedzy w obszarze przeprowadzonych badań oraz możliwość konfrontacji wyników badań własnych.

Prezentując doniesienia literaturowe, Autorka przedstawiła wymagania stawiane wodzie przeznaczonej do spożycia i na cele gospodarcze, ponadto scharakteryzowała rodzaj ujmowanych w tym celu wód. Zasadniczy element części teoretycznej stanowi omówienie technologii oczyszczania wód infiltracyjnych i podziemnych, w aspekcie eliminacji z nich związków żelaza i manganu, ale również materii organicznej i mikroorganizmów. Ponadto Doktorantka przedstawia analizę rozległych systemów dystrybucji w aspekcie wpływu struktury tych systemów na stabilność biologiczną. Te elementy stanowią podstawę do prezentacji zjawiska powstawania biofilmów w systemach dystrybucji - czynników wpływających na rodzaj i skład powstających biofilmów. W ostatnim rozdziale tej części Autorka odnosi się do kwestii oceny ryzyka, planu bezpieczeństwa wody i multibarierowości w ograniczeniu zjawiska wtórnego rozwoju mikroorganizmów.

Część teoretyczna składa się z 9 podrozdziałów. W pierwszym (2.2.) Autorka przedstawia aspekty oceny jakości wody przeznaczonej do spożycia oraz konieczne zmiany w obowiązującym w Polsce Rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, wynikające z implementacji nowej dyrektywy UE.

W kolejnych podrozdziałach (2.2. i 2.3.) omówiono technologię oczyszczania wód powierzchniowych, a szczegółowo - wód podziemnych i infiltracyjnych.

Podrozdział 2.4. został poświęcony systemom dystrybucji, analiza objęła zarówno przewody magistralne, rozdzielcze, jak również instalacje wewnętrzne. Autorka przedstawiła materiały wykorzystywane do budowy rurociągów oraz ich potencjał do tworzenia biofilmów, awaryjność i wytrzymałość. Ta analiza stanowiła podstawę do omówienia stabilności biologicznej wody oraz zjawiska tworzenia biofilmów (podrozdziały 2.5 i 2.6.). Autorka scharakteryzowała pojęcie stabilności biologicznej, czynników wpływających na rozwój mikroorganizmów. Szczegółowo przedstawiła kolejne etapy tworzenia biofilmów, co zostało wykorzystane w części badawczej do interpretacji uzyskanych wyników.

W ostatnich dwóch podrozdziałach omówiła tworzenie planów bezpieczeństwa wody oraz ocenę ryzyka związanego z jej spożyciem.

Część badawczą Autorka rozpoczyna od prezentacji celu badań, który ma charakter naukowy, tj. dostarczenie wiedzy w zakresie czynników warunkujących rozwój mikroorganizmów w różnych etapach systemu zaopatrzenia w wodę (od ujęcia do odbiorcy) oraz użyteczny, tj. opracowanie instrukcji postępowania zapewniającego ograniczenie zmian jakości wody do picia w łańcuchu dostaw. Dzięki temu Autorka zaznaczyła wdrożeniowy charakter pracy.

Część eksperymentalną Doktorantka rozpoczyna od omówienia systemu zaopatrzenia w wodę aglomeracji poznańskiej obejmującego: charakterystykę ujęć wody, stacji uzdatniania oraz system dystrybucji. Opisano stosowane technologie, eksploatowane urządzenia, a także zaprezentowano strukturę materiałową, wiekową i średnic przewodów wchodzących w skład systemu dystrybucji. Ten system stanowi przedmiot badań, a do realizacji celu Autorka wykorzystuje modelowe fragmenty przewodów wodociągowych, których charakterystykę, sposób eksploatacji i budowę przedstawia w rozdziale 4.2.

W kolejnym prezentuje metodykę badań, w szczególności metody analityczne wykorzystywane do identyfikacji mikroorganizmów, ich aktywności życiowej, klasyfikację bakterii obecnych w biofilmach oraz ocenę mikroskopową wewnętrznych powierzchni przewodów wodociągowych.

Zasadniczy element tej części stanowi omówienie wyników badań (rozdział 5), w kolejnych podrozdziałach Autorka przedstawia wyniki badań, prowadzonych w ZOW Mosina, ZOW Wiśniowa oraz w systemie dystrybucji, realizowanych w warunkach rzeczywistych z wykorzystaniem fragmentów przewodów wodociągowych wyciętych podczas ich awarii.

W każdym z podrozdziałów Doktorantka kolejno omawia wyniki jakości wody surowej i oczyszczonej oraz zaawansowane analizy składu biofilmów powstałych w przewodach zasilanych wodami po kolejnych jednostkowych procesach oczyszczania. Charakterystyka mikroorganizmów prowadzona była z wykorzystaniem sekwencjonowania nowej generacji, cytometrii przepływowej - do oceny aktywności metabolicznej oraz sortowania subpopulacji komórek o pośredniej aktywności, co pozwoliło na określenia składu gatunkowego mikroorganizmów.

Rozdział 6 *Podsumowanie w aspekcie wdrożenia* stanowi nie tylko podsumowanie wyników badań, ale uwzględnia również trzy instrukcje postępowania, opracowane na podstawie przeprowadzonych analiz. Instrukcje te zawierają opis toku postępowania i protokół z przeprowadzonych prac.

Praca zakończona została 23 wnioskami podsumowującymi uzyskane wyniki, przedstawione dla każdego z obszarów badawczych oddzielnie.

Merytoryczna ocena rozprawy

Uważam, że temat podjęty przez Doktorantkę jest aktualny i wartościowy. Obszerna analiza doniesień literaturowych i ich konfrontacja z badaniami własnymi pozwoliły na określenie czynników wpływających na rozwój biofilmów w modelowych przewodach wodociągowych zasilanych wodą po kolejnych etapach jej oczyszczania.

Przeprowadzono kompleksowe analizy umożliwiające ustalenie składu biofilmów bakteryjnych obecnych w sieci dystrybucyjnej Poznania oraz określono pochodzenie mikroorganizmów tworzących błony bakteryjne po poszczególnych procesach jednostkowych, a więc został zrealizowany cel pracy - przygotowanie instrukcji postępowania zapewniających ograniczenie zmian jakości wody w sieci wodociągowej. Opracowane instrukcje świadczą o osiągnięciu aplikacyjnego celu pracy, a wynikają z pozyskania nowej wiedzy w zakresie stabilności biologicznej wody.

Do najważniejszych osiągnięć Doktorantki można zaliczyć:

- Praktyczne wykorzystanie zaawansowanych metod analizy składu mikrobiologicznego wody oraz biofilmów zgromadzonych wewnątrz przewodów wodociągowych. Połączenie kilku technik identyfikacji mikroorganizmów, w szczególności pozwalających na określenie rodzajów mikroorganizmów oraz poziomu ich aktywności metabolicznej, uważam za nowatorskie. Uzyskane dzięki temu wyniki pozwalają na

poszerzenie wiedzy w zakresie czynników wpływających na rozwój mikroorganizmów i możliwości jego ograniczenia w systemach dystrybucji.

- Zastosowanie sekwencjonowania nowej generacji oraz sekwencjonowania regionu V3-V4 rRNA do analizy formowania, rozwoju i przemian mikroorganizmów wchodzących w skład błony biologicznej.
- Wykorzystanie wiedzy zdobytej podczas realizacji badań z użyciem modelowych przewodów wodociągowych, do wyjaśnienia zmian składu mikrobiologicznego w warunkach rzeczywistych, które miały miejsce we wcześniejszym okresie eksploatacji systemu zaopatrzenia w wodę.
- Długoterminową ocenę składu biofilmów, pozwalającą na określenie dominacji gatunkowej mikroorganizmów tworzących błonę biologiczną w zależności od fazy rozwoju biofilmu.
- Ocenę wpływu procesu dezynfekcji na rodzaj i liczebność mikroorganizmów, w szczególności zastosowania jednego lub kilku czynników dezynfekcyjnych. Ze względu na stosowanie tego procesu w znakomitej większości zakładów oczyszczania wody na świecie, określenie wpływu poszczególnych czynników chemicznych czy fizycznych na aktywność metaboliczną i liczebność mikroorganizmów jest bardzo ważna i dostarcza nowej wiedzy w zakresie skuteczności dezynfekcji.
- Przygotowanie instrukcji postępowania przy wymianie i/lub regeneracji złóż filtracyjnych zapewniającej ograniczenie liczebności mikroorganizmów w oczyszczanej wodzie oraz w systemie dystrybucji. Problem dużego skażenia mikrobiologicznego wody po wymianie złóż nie został do tej pory wyjaśniony w doniesieniach literaturowych, tym bardziej należy uznać to za ważne osiągnięcie Doktorantki. W pracy znalazły się wytyczne dla eksploatatorów systemów zaopatrzenia w wodę w zakresie wymiany złóż (str. 157), co również uważam za bardzo wartościowe:

Najlepszym rozwiązaniem, ograniczającym zmiany jakości wody uzdatnianej, powodowane działaniami modernizacyjnymi/regeneracyjnymi na złożach filtracyjnych, wydaje się być planowanie cyklicznej wymiany złóż, w ustalonych odstępach czasowych, tak by drobnoustroje odporne na działanie środków dezynfekcyjnych masowo nie przechodziły do wody pitnej. Podczas tego typu działań eksploatacyjnych priorytetem winno być dążenie do zachowania równowagi liczebności mikroorganizmów oznaczanych w temperaturze 22°C wody poddawanej dezynfekcji.

Mojej bardzo pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej nie umniejszają poniższe uwagi, z których większość ma charakter dyskusyjno-wyjaśniający:

1. Moim zdaniem, ograniczenie zakresu badań w ZOW Wiśniowa nie jest poprawne, ze względu na zmienność, o której pisze Autorka: *Z uwagi na fakt, że drobnoustroje są obecne w ujmowanej wodzie infiltracyjnej, a ich skład ulega ciągłym zmianom w zależności od pory roku, nie badano wody surowej i po procesie napowietrzania* (str. 79) – właśnie zmienność wpływa na przebieg tworzenia biofilmów.
2. Przedstawione korelacje liniowe na rysunkach 58, 63-65, 90, 91, których współczynnik korelacji jest bardzo mały, uważam za nieistotne. Moim zdaniem, nie można na ich podstawie wyciągać wniosków dotyczących trendu zmian parametrów w czasie, ponieważ - jak sama Autorka stwierdza - zmienność wartości parametrów jakości wody wynika z sezonowości.
3. Analizowano trzy subpopulacje: aktywne, nieaktywne oraz o średniej aktywności, jednak na rysunkach 52-54, 71-77 i 84 udział tych trzech grup subpopulacji nie sumuje się do 100%. Nie analizowano innych subpopulacji, a zaprezentowane na wykresach błędne udziały mogą prowadzić do nieprawidłowych wniosków.
4. Czy tytuł dysertacji nie powinien być zawężony do ograniczenia skażenia mikrobiologicznego wody w systemie dystrybucji? W pracy nie zostały ani omówione, ani przeanalizowane zmiany składu fizyczno-chemicznego wody w sieci wodociągowej.
5. Autorka w kilku miejscach wspomina o wpływie obecności substratów pokarmowych na przebieg rozwoju biofilmów, jednak pomimo posiadania wyników analiz zawartości związków azotu i ogólnego węgla organicznego, nie pokusiła się o analizę korelacji pomiędzy liczebnością/rodzajem mikroorganizmów a stężeniem substratów pokarmowych. Istotne byłoby przeprowadzenie kontroli stężenia fosforanów, które są wskazywane jako czynnik limitujący rozwój mikroorganizmów w wodach ujmowanych na cele gospodarcze.

Sformułowanie na str. 130: *Dodatkowo, woda po ozonowaniu charakteryzuje się wysokim nasyceniem tlenem oraz obecnością wysokich stężeń łatwo dostępnych substancji odżywczych (PWO)* nie ma potwierdzenia w wynikach badań własnych

6. Moim zdaniem, wnioski powinny zostać przedstawione w sposób bardziej zunifikowany, niezależnie od miejsca prowadzenia badań dotyczących rozwoju mikroorganizmów. Autorka mogła pokusić się o sformułowanie swoistych wytycznych dotyczących działań eksploatacyjnych w zakresie ograniczenia zmian jakości wody w sieci wodociągowej.

Doktorantka nie ustrzegła się usterek edytorskich czy nomenklaturowych, do których należy zaliczyć:

- w fachowej terminologii funkcjonuje pojęcie „wody do spożycia” lub „wody do picia”, zamiast *woda pitna*;
- w kilku miejscach pojawia się *Wyspa Krakowska*, zamiast „Wyspa Krajowska”
- zwyczajowo w tekście w środku zdania nie piszemy *Tabela...*, używa się małej litery; uwaga ta dotyczy również rysunków;
- zgodnie z normą dotyczącą analizy najbardziej prawdopodobnej liczby bakterii, jednostką jest NPL/100 ml, a nie *cfu/100ml* – uwaga dotyczy wszystkich tabel zawierających informacje o liczebności mikroorganizmów (tab. 13, 14, 24 i 25);
- nie powinno się stosować żargonu eksploatacyjnego w dysertacji, np. *na zakładzie*, zamiast poprawnego - „w zakładzie”; *pompy płuczne*, zamiast adekwatnych wyrażen - „pompy do płukania” lub „pompy płuczące”;
- przy podawaniu DN nie stosujemy już jednostki, ponieważ zawsze DN podajemy w mm;
- w przypadku prezentacji danych w długim okresie, nie dysponując pomiarami on-line, nie można ich ilustrować za pomocą wykresów liniowych (rys. 44-51 i 71-74); należało zastosować inny typ wykresów, np. słupkowy (ta uwaga dotyczy również wykresów 85 i 86, gdzie połączono linią punkty z różnych miejsc układu technologicznego, co w moim odczuciu jest błędem);
- str. 79: *stały przepływ o prędkości 0,1 m³/h* - czy dotyczy natężenia przepływu, czy prędkości przepływu?
- str. 77: nie ma badań w *skali modelowej*, zostały stworzone modele przewodów, które były przedmiotem badań;
- w tab. 7: zamiast *wiek przewodów*, powinien być „rok montażu/produkcji”;
- rys. 33: należało przyjąć inną skalę, ponieważ nie wszystkie wartości zostały zaznaczone na tym rysunku.

Podsumowanie oceny rozprawy i wniosek o jej przyjęcie

Podsumowując, podjęcie tematu *Ograniczenie zmian jakości wody w rozproszonym systemie dystrybucyjnym miasta Poznania* należy uznać za aktualne i trafione zarówno pod względem aplikacyjnym, jak i poznawczym. Postawione przez Doktorantkę cele pracy zostały w pełni zrealizowane. Doktorantka:

- a) opracowała metodykę badań pozwalającą na przeprowadzenie eksperymentu w odniesieniu do wody z różnych etapów jej oczyszczania, która może zostać zastosowana w innych obiektach oczyszczania wód;
- b) nabyła niezbędną wiedzę i umiejętności w prawidłowej interpretacji otrzymanych wyników analiz, w zakresie omawianej tematyki;
- c) wykazała zdolność samodzielnego rozwiązywania zadań i problemów naukowych.

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Iwony Lasockiej-Gomuły pt. *Ograniczenie zmian jakości wody w rozproszonym systemie dystrybucyjnym miasta Poznania* spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące ustawowe przepisy. Wnoszę zatem o przyjęcie pracy przez Radę Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i dopuszczenie jej Autorki do kolejnych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

Maryzeta Wolska