

Dr hab. inż. Michał Zielina, prof. PK  
Wydział Inżynierii Środowiska  
Politechnika Krakowska  
Ul. Warszawska 24,  
31-155 Kraków

Kraków, 31.05.2019

## **Recenzja**

Rozprawy doktorskiej mgr inż. **Andżeliki Domoń** pt **Wpływ procesu biofiltracji z zastosowaniem biologicznie aktywnych filtrów węglowych na stabilność wody wodociągowej**” wykonanej na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej

Promotor pracy: dr hab. inż. **DOROTA PAPCIAK**, prof. PRz

### **1. Przedmiot i podstawa formalna opracowania recenzji**

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pani mgr inż. Andżeliki Domoń prowadzona na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej, której promotorem jest pani dr hab. inż. Dorota Papciak, prof. PRz. Recenzję opracowano zgodnie z uchwałą Rady Wydziału z dnia 18.04.2019r.

### **2. Charakterystyka i ocena rozprawy doktorskiej**

#### **2.1 Uzasadnienie celowości podjęcia tematu badawczego**

Podstawowym zadaniem systemów zaopatrzenia w wodę jest nie tylko dostarczenie odbiorcy wody w odpowiedniej ilości i pod odpowiednim ciśnieniem, ale także o odpowiedniej jakości. W przypadku wielu rozległych systemów komunalnych, zagwarantowanie na wyjściu z zakładu uzdatniania wody jakości wody przeznaczonej przez ludzi do spożycia okazuje się być niewystarczające. Konieczne jest zagwarantowanie odpowiedniej jakości wody w sposób ciągły na końcówkach sieci. Wpływ na wtórne zanieczyszczenie wody w sieci może mieć szereg czynników, takich jak między innymi stan przewodów wodociągowych, prędkość przepływu, wielkość dawki dezynfektanta czy też wystąpienie zjawisk incydentalnych związanych np z okresowym czyszczeniem czy też renowacją przewodów w sieci. W ostatnich dekadach szczególną uwagę zwrócono na narastający na wewnętrznej powierzchni przewodów wodociągowych biofilm. Błona biologiczna obrastająca w sposób nieunikniony wnętrze

przewodów wodociągowych w niektórych przypadkach może również przyczyniać się do wtórnego zanieczyszczenia transportowanej wody. Jak słusznie zauważyła Doktorantka w swojej dysertacji, jakość wody wypływającej ze stacji uzdatniania, a szczególnie zawarte w niej substancje biogenne są jednymi z istotniejszych czynników decydujących o wtórnym rozwoju drobnoustrojów oraz intensywności narastania błony biologicznej w sieci wodociągowej. Aktualne wymagania prawne w Polsce nie narzucają dziś obowiązku kontrolowania substancji biogenych, normują jedynie nieprawidłowe zmiany ogólnego węgla organicznego. Jednocześnie, konwencjonalne procesy jednostkowe uzdatniania wody stosowane obecnie w Polsce, jak też innych rozwiniętych krajach nie gwarantują wystarczającego poziomu redukcji rozpuszczonego biodegradowalnego węgla organicznego. Stąd poruszona w pracy tematyka jest bardzo aktualna, a jej wyniki mogą stanowić istotny przyczynek w dyskusji nad koniecznością normowania ilości substancji biogenych wprowadzanych do sieci wodociągowej. Zaproponowany przez doktorantkę proces biofiltracji na złożu z granulowanym węglem aktywnym jest właściwie dobrany. Jest to proces pozwalający na osiągnięcie wysokiej stabilności biologicznej wody. Zaproponowane w pracy rozwiązanie jest już co prawda znane, jednak wciąż budzące sporo kontrowersji ze względu na potencjalny kontakt mikroorganizmów zasiedlających pory ziaren węgla aktywnego z uzdatnianą wodą. Stąd konieczność lepszego poznania i prowadzenia badań w tym obszarze. W początkowym etapie biofiltracji na granulowanym węglu aktywnym dominuje dobrze rozpoznane zjawisko sorpcji, jednak w późniejszych okresach zjawisko to niemal zanika. Wtedy, istotniejsze stają się mechanizmy oczyszczania biologicznego, dzięki którym okres pracy złoża bez konieczności jego regeneracji ulega znacznemu wydłużeniu. Podczas, gdy sorpcja jest już zjawiskiem dobrze rozpoznany, biofiltracja ze względu na bardzo wysoki stopień złożoności i trudność w opisie matematycznym zjawisk zasiedlania i rozwoju mikroorganizmów biologicznych oraz efektywności oczyszczania przez nie wody, wciąż wymaga szeregu badań empirycznych. Równocześnie, tego typu proces jest wysoce pożądany w układach technologicznych ze względu na fakt, że utrzymanie podstawowych parametrów fizykochemicznych oraz stabilności fizycznej i chemicznej na większości stacji uzdatniania wody w Polsce nie stanowi już dziś istotnego problemu, pojawiają się natomiast trudności z ograniczeniem wysokich ładunków substancji organicznych oraz z zachowaniem stabilności biologicznej, a co za tym idzie zminimalizowaniu prawdopodobieństwa wtórnego zanieczyszczenia mikrobiologicznego w sieci. Biorąc pod uwagę powyższe, można uznać, że temat podjęty jest bardzo aktualny, a równocześnie wciąż wymagający głębszego rozpoznania. Autorka dysertacji podjęła, więc trafny wybór tematu dla swojej dysertacji.



## 2.2 Ogólna charakterystyka rozprawy i jej ocena

Rozprawa obejmuje 164 strony tekstu podstawowego, w tym 260 pozycji bibliograficznych i 25 załączników. Praca została wykonana bardzo starannie. Rysunki, tabele i wykresy wykonane zostały w sposób bardzo przejrzysty, pozwalający czytelnikowi łatwo zrozumieć zawartą w nich treść. Praca zawiera spis skrótów i oznaczeń pojawiających się w tekście. Wszystkie parametry pojawiające się w równaniach zostały opisane pod nimi wraz z podaniem jednostek. Autorka posługuje się w pracy bardzo dobrą polszczyzną i trudno doszukać się znaczących błędów stylistycznych. Proporcja pomiędzy częścią teoretyczną opartą na doniesieniach literaturowych a częścią zawierającą badania własne jest zrównoważona. Praca tworzy logiczną całość i zawiera wszystkie wymagane w tego typu pracach doktorskich niezbędne elementy. Zaczyna się od uzasadnienia podjęcia tematu, następnie w przeglądzie literaturowym przedstawiony jest aktualny stan wiedzy, później Autorka wymienia cele, zakres i tezy pracy. Kolejne części pracy stanowią metodyka badań, omówienie wyników badań oraz wnioski praktyczne i naukowe, a także perspektywę dalszych badań. Załącznik w postaci 25 tabel został umieszczony na końcu za literaturą i spisem rysunków. Umieszczenie szczegółowych wyników pomiarów w załączniku zamiast w głównym tekście było właściwe i pozwoliło na przejrzystość pracy.

Autorka przedstawiła rzetelne i przekonujące uzasadnienie podjęcia tematu oraz szczegółowy przegląd literatury zawierający podsumowania najważniejszych osiągnięć naukowych w podjętej tematyce, które zostały opisane w literaturze światowej. W części przeglądowej Autorka zacytowała 260 pozycji literaturowych, z których zdecydowana większość to pozycje anglojęzyczne opublikowane w ostatnich 10 latach w uznanych czasopiśmie międzynarodowych. Zacytowana literatura została dobrana przez Autorkę w sposób właściwy, a sposób odwołania się do tych pozycji w dysertacji był uzasadniony i świadczy o znajomości aktualnego stanu wiedzy w zakresie prowadzonych przez Autorkę badań.

Tak cel główny, jak też cele szczegółowe zostały postawione prawidłowo, są konkretne i zawierają istotę prowadzonych badań. Przedstawiony przez Autorkę zakres badań uwzględnia wszystkie najistotniejsze poruszone w pracy elementy. Dotyczą one procesu filtracji biologicznej na złożu z węglem aktywnym w aspekcie doboru materiałów filtracyjnych, zmian parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych wody uzdatnianej, stabilności wody i oszacowania ryzyka jej wtórnego zanieczyszczenia w systemie dystrybucji, formowanie

biofilmu wewnątrz przewodów wodociągowych i skuteczności usuwania frakcji związków organicznych.

Trzeba zwrócić uwagę na kompleksowe potraktowanie przez Doktorantkę tematu, a co za tym idzie dużą rozległość zakresu prowadzonych badań. Doktorantka w swojej pracy nie tylko bada wpływ procesu biofiltracji na węglu aktywnym na efektywności uzdatniania wody, a w szczególności usuwania naturalnej materii organicznej, ale również analizuje wpływ na stabilność wody oraz ryzyko jej wtórnego zanieczyszczenia w układzie konwencjonalnym, jak też wpływ na formowanie biofilmu wewnątrz przewodów, a także kwestie doboru wypełnienia biofiltru.

Badania przeprowadzone przez Doktorantkę mają charakter eksperymentalny. Główne eksperymenty zostały przeprowadzone na modelach filtrów wypełnionych granulowanym węglem aktywnym, które zostały włączone do rzeczywistego ciągu technologicznego w zakładzie uzdatniania wody w Jeziórku koło Tarnobrzegu. Wykorzystane do badań stanowisko można, więc uznać za stację pilotową, a zrealizowane na nim badania za przeprowadzone w skali półtechnicznej. Praca oprócz aspektów poznawczych ma też silny charakter aplikacyjny, który pozwala na bezpośrednie wdrożenie uzyskanych wyników w skali technicznej. Stanowi to znaczącą wartość przeprowadzonych badań.

Zastosowany podczas badań model filtrów został zaprojektowany i zbudowany zgodnie z przyjętymi regułami. Przeprowadzone eksperymenty zaplanowano i przeprowadzono w sposób właściwy. Na szczególne podkreślenie zasługuje wykonana duża liczba pomiarów analitycznych, między innymi pracochłonne oznaczania liczby mikroorganizmów w wodzie. Autorka wykonała także pomiary towarzyszące mające na celu dobór najwłaściwszego typu złoża granulowanego węgla aktywnego, a także ocenę mechanizmu usuwania zanieczyszczeń na biologicznie aktywnych filtrach węglowych, a także wpływ materiału użytego do budowy przewodów wodociągowych na strukturę i wielkość kształtującej się wewnątrz błony biologicznej.

W oparciu o treść rozprawy można uznać, że Autorka postępowała w pełni zgodnie z metodologią badań naukowych gwarantujących właściwy dobór, układ i poprawność czynności doświadczalnych.

Przyjętą w pracy metodykę szacowania ryzyka braku stabilności wody wodociągowej wraz z doбором parametrów oceny stabilności fizycznej, chemicznej i biologicznej wody, jak również



analizą statystyczną uznają za bardzo ciekawą, oryginalną i przeprowadzoną w sposób poprawny.

Bardzo ciekawą i oryginalną częścią pracy są zaproponowane przez Doktorantkę analizy zmian zawartości frakcji związków organicznych w wodzie wykonane w oparciu o metodę frakcjonowania z zastosowaniem żywic jonowymiennych. Analiza między innymi pozwoliła na ocenę skuteczności biofiltracji na węglu aktywnym w ograniczeniu prekursorów ubocznych produktów dezynfekcji.

Autorka na końcu pracy przedstawiła szereg wniosków praktycznych podkreślających aplikacyjność przeprowadzonych badań, a także ciekawe wnioski naukowe świadczące o charakterze poznawczym pracy.

### **2.3 Uwagi i pytania**

Mimo ogólnie bardzo pozytywnej oceny rozprawy, jej szczegółowa analiza nasuwa kilka uwag, wątpliwość i pytań.

W niektórych miejscach pracy, np. w celach i wnioskach, Autorka skraca nazwę procesu biofiltracji na złożu z węglem aktywnym, zastępując je wyrażeniem biofiltracja. Proces biofiltracji może przebiegać na innych złożach niż węgiel aktywny np. na piasku kwarcowym, tak jak to ma miejsce w klasycznych filtrach powolnych. Jednak przebiegi takich procesów znacznie różnią się od siebie ze względu na znaczne różnice powierzchni właściwej ziaren, nawet 100-krotne oraz wpływ mechanizmu sorpcji na efektywność działania. Stąd w nazwie procesu biofiltracji na węglu aktywnym nie powinno pomijać się członu wskazującego na zastosowanie materiału sorpcyjnego.

Prędkość filtracji i czas kontaktu są dość istotnymi parametrami pracy filtrów biologicznie aktywnych. Stosowne byłoby, więc podanie informacji o zmianach tych parametrów podczas eksperymentów na wykresach i w opisie przebiegu badań, skoro zmiany te osiągały w skrajnych przypadkach nawet dwukrotnie różniące się wartości (1-2 m/h). Zmiany te niewątpliwie miały wpływ na przebieg efektywności usuwania związków organicznych.

Czy przy relatywnie dużej prędkości filtracji 2m/h, Autorka nie zaobserwowała znaczących przyrostów oporu przepływu przez badane aktywnie biologicznie złoża z węglem aktywnym? Wskazane byłoby kontrolowanie tego przyrostu podczas eksperymentów i przedstawienie go w pracy. Spodziewam się, że w zaproponowanych warunkach eksploatacyjnych narastająca

blona biologiczna oraz przedostające się z filtrów pospiesznych cząstki mogą spowodować znaczny przyrost oporów. Czy w związku z tym przewidziana jest możliwość płukania filtrów?

Na rysunkach 32-41 porównano efektywności redukcji wybranych parametrów podczas biofiltracji w dwóch kolumnach wypełnionych dwoma różnymi typami węgla aktywnych. Jak napisano w dysertacji, ich eksploatacja rozpoczęła się w różnych momentach. Czy fakt ten nie wpływał na możliwość porównania efektywności ich pracy? Jakość wody dopływającej zmieniała się, różny był też czas wpracowania złóż.

Porównywano tylko wybrany okres pracy dwóch modelowych filtrów biologicznych między sobą, od 257 do 447 dnia. Dlaczego wybrano akurat ten okres, a nie na przykład wcześniejszy?

Powszechnie wiadomo, że proces biologicznej filtracji na węglu aktywnym przebiega najefektywniej, gdy jest poprzedzony ozonowaniem, podczas którego dochodzi do przekształcenia niebiodegradowalnych frakcji organicznych w małowcząsteczkowe formy biodegradowalne, które stanowią podstawowy składnik pożywienia mikroorganizmów. Czy rozważa się wprowadzenie ozonowania przed BAC do przedmiotowego układu technologicznego?

W kilku miejscach dysertacji pojawia się skrót PCV. Jest on użyty niepoprawnie. W języku polskim nazwy związków chemicznych zapisanych wzorami sumarycznymi czyta się od tyłu, stąd związek, który ma na myśli Autorka to polichlorek winylu, a jego skrót to PCW. Z kolei w języku angielskim nazwy te są czytane od przodu i nazwa omawianego związku brzmi polyvinylchlorid, a skrót to PVC.

W pracy Autorka dokonywała wyboru węgla aktywnego spośród 5 typów. Wybór oparła o następujące parametry: OWO, indeks nadmanganiowy, absorbancja UV, barwa. Co zadecydowało o wyborze granulatu WD-Extra, skoro we wszystkich testach poza jednym okazał się on być najmniej efektywny?

Czemu nie wzięto pod uwagę wyznaczenia i porównania ze sobą izoterm adsorpcji poszczególnych węgli aktywnych? Pozwoliłoby to lepiej ocenić możliwości sorpcyjne poszczególnych węgli aktywnych i wstępnie wytypować najwłaściwsze.

Średnica kolumny 5,5 cm wydaje się wystarczająco duża, choć trudno to jednoznacznie stwierdzić, gdyż brakuje informacji na temat uziarnienia złóż. Czy Doktorantka analizowała wpływ efektu brzegowego na uzyskane wyniki? Wpływ ten będzie największy przy największych prędkościach filtracji, czyli około 2 m/h i będzie też zależał od uziarnienia.



Bardzo ciekawe i trudne w wykonaniu jest przeprowadzone przez Doktorantkę badanie stopnia zasiedlenia węgla aktywnego przez mikroorganizmy. W pracy nie przedstawiono szczegółów konstrukcyjnych urządzenia pobierającego. Czy próbka pobierana była ze środka kolumny, czy z brzegu? Przy brzegu warunki mogły nieznacznie różnić się od warunków w pozostałych częściach przekroju. W pracy zabrakło szczegółowej analizy uzyskanych ciekawych wyników pomiaru liczby mikroorganizmów zasiedlających próbki. Rozszerzone badania tego zagadnienia mogłyby stanowić interesujący temat dla przyszłej aktywności naukowej Autorki.

Autorka w pracy analizowała BRWO. Jednak ze względu na pracochłonność pomiarową, jak się domyślam, korzystała z pomiaru OWO. Czy Autorka podejmowała próbę wyznaczenia samodzielnego dla wybranych próbek analizowanej wody udziału BRWO w OWO, czy tylko korzystała z wyników literaturowych?

Bardzo ciekawe są badania narastania błony biologicznej wewnątrz rur wykonanych z różnych materiałów. W pracy brakuje jednak informacji na temat warunków jakie panowały podczas badań. Zaznaczono tylko, że warunki przyjęte podczas badań znacznie różniły się od warunków panujących w sieci wodociągowej. Na czym polegają różnice przyjętych podczas badań warunków względem panujących w sieci wodociągowej?

Pisząc o wymaganiach, co do związków biogenych odniesiono się tylko do polskich wytycznych, europejskie są w zasadzie takie same, a co z wytycznymi w krajach poza Unią Europejską, np. w USA?

Doktorantka podczas przygotowywania swojej rozprawy doktorskiej zebrała dużą liczbę cennych wyników pomiarów eksperymentalnych, a następnie prawidłowo zinterpretowała je. Kolejnym etapem kariery zawodowej Doktorantki mogłoby być opracowanie w oparciu o te wyniki modelu matematycznego opisującego analizowane zagadnienie w szerokim zakresie i w sposób bardziej uniwersalny.

Wymienione powyżej uwagi nie podważają najważniejszych osiągnięć rozprawy.

### **3. Podsumowanie**

Sformułowane w niniejszej opinii uwagi nie mają zasadniczego wpływu na końcową wysoką ocenę pracy.

Stwierdzam, że pani mgr inż. Andżelika Domoń przedstawiła rozprawę doktorską o wysokich walorach poznawczych i aplikacyjnych, a uzyskane przez nią wyniki są własnymi,

oryginalnymi osiągnięciami badawczymi i stanowią Jej indywidualny wkład w rozwój specjalności naukowej. Kandydatka na doktora nauk technicznych wykazała bardzo dobrą ogólną wiedzę teoretyczną w dotychczasowej dyscyplinie „Inżynieria środowiska” odpowiadającej aktualnej dyscyplinie „Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka” oraz zaprezentowała umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Praca doktorska pani mgr inż. Andżeliki Domoń rozwiązuje zidentyfikowane problemy naukowe związane z wpływem procesu filtracji biologicznej na węglu aktywnym na stabilność wody wodociągowej.

**Uważam, że rozprawa doktorska pani mgr inż. Andżeliki Domoń spełnia wszelkie warunki wymagane ustawą z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65 poz. 595) z późniejszymi zmianami i zwracam się do Rady Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej z wnioskiem o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

M. Zielina