

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Siwiec
Zakład Wodociągów i Kanalizacji
Katedra Inżynierii Środowiska i Geodezji
Wydział Inżynierii Produkcji
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Akademicka 13
20-950 Lublin

Warszawa 2022-06-20

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Józefa Natonka**
pt. „**Wykorzystanie ozonu do dezynfekcji i podnoszenia bezpieczeństwa eksploatacji sieci wodociągowej**”

Podstawa opracowania

Zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny „Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka” Politechniki Śląskiej z dnia 28.04.2022 r. zostało przekazane mi zlecenie Pana prof. dra hab. inż. Andrzeja Rusina Przewodniczącego w/w Rady Dyscypliny na wykonanie recenzji w/w rozprawy doktorskiej. Zlecenie z dnia 18.05.2022 r. opatrzone zostało numerem RIE-BD.512.26.2022.

Ogólne omówienie rozprawy

Tematyka podjęta w rozprawie doktorskiej jest istotnej wagi, ze względu na aspekt zarówno naukowy jak i praktyczny. Związana jest z wszelkiego rodzaju systemami wodociągowymi, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki utrzymania bezpiecznego stanu mikrobiologicznego wody. Jak wiadomo w sieciach wodociągowych występują różnego rodzaju zagrożenia związane z wytrącaniem się i sedymentacją rozmaitych osadów oraz procesami wtórnego zanieczyszczenia wody. Wtórne zanieczyszczenie może wynikać z wielu przyczyn, między innymi ze zmian prędkości przepływu wody, zmiany stanu jakościowego osadów jako konsekwencji zmiany warunków tlenowych (potencjał redox) oraz w wyniku tworzenia się sprzyjających warunków rozwoju rozmaitych mikroorganizmów, a także przy przedostawaniu się do sieci zanieczyszczeń ze źródeł zewnętrznych.

Analizie skuteczności dezynfekcji wody przy wykorzystaniu ozonu oraz wpływu innych czynników na spadek stężenia ozonu w różnych typach rurociągów w funkcji czasu została poświęcona rozprawa doktorska mgr inż. Józefa Natonka.

Jest to temat niezmiernie ważny, gdyż przypadki skażenia odcinków rurociągów wodociągowych nie są odosobnione i bez względu na wielkość jednostki osadniczej stanowią istotne zagrożenia dla mieszkańców. Najczęściej skażenia rurociągów obserwuje się po wymianie rur lub budowie nowych odcinków sieci, kiedy rury nie zostały dostatecznie wypłukane i zdezynfekowane. Czasem obserwuje się na placach budów leżące bez zabezpieczenia rury nawet jeśli producent sprzedaje je zafoliowane lub/i zabezpieczone kołpakami. Taki brak zabezpieczenia umożliwia dostanie się do wnętrza rur różnego rodzaju zanieczyszczeń, które po zamontowaniu i napełnieniu bez przeszkód przedostają się do wody.

Inną sytuacją jest wtórne zanieczyszczanie wody wynikające z rozpuszczania się osadów odkładających się we wnętrzu rur we wcześniejszych miesiącach lub nawet latach. Zmieniające się, w wyniku naturalnych zjawisk parametry jakościowe wody, jak warunki redox, a szczególnie powstawanie obszarów charakteryzujących się warunkami beztlenowymi sprzyjają rozpuszczaniu się osadów np. soli żelaza Fe^{+2} i rozwojowi bakterii psychrofilnych. Dezynfekowanie odcinków rurociągów podczas normalnej pracy sieci wodociągowej jest kłopotliwe, wymaga dobrej organizacji pracy i przygotowania zespołu pracowników wraz z odpowiednim sprzętem, aby w jak najkrótszym czasie dokonać wyłączenia z działania wybranych odcinków rurociągów i przeprowadzenia operacji. Z tego względu każdy pomysł, który ma szansę podwyższyć efektywność dezynfekcji i skrócić czas zabiegu jest bardzo ważny i godny wdrożenia.

Merytoryczną część pracy stanowi 8 rozdziałów, z których pierwszy jest krótkim wprowadzeniem czytelnika we właściwą tematykę, a drugi zawiera cel ogólny, cele szczegółowe oraz tezy pracy. Trzeci rozdział, podzielony na trzy podrozdziały stanowi przegląd literatury dotyczącej wymagań odnoszących się do jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Wyodrębniono w tym rozdziale wymagania mikrobiologiczne, metody dezynfekcji wody wraz z opisem tworzących się podczas tego procesu produktów ubocznych mających negatywny wpływ na jakość wody. Ostatni podrozdział tego rozdziału odnosi się do ważnego zagadnienia jakim jest wtórne, mikrobiologiczne zanieczyszczenie wody, które obserwowane jest w wielu systemach wodociągowych. Opisano tu zarówno mechanizm powstawania błony biologicznej, jak i metody zapobiegania wtórnemu zanieczyszczeniu.

Czwarty rozdział również należący do przeglądu literatury obejmuje informacje odniesione do samego ozonu wraz z jego własnościami kinetyką rozpadu i metodami wytwarzania. W rozdziale tym odrębną część stanowi aspekt praktycznego wykorzystania ozonu w systemach wodociągowych. Dość szczegółowo opisano wykorzystanie ozonu w w dwóch stacjach wodociągowych, to jest SUW Piaskownia i SUW Jarosław Dąbrowski w Jaworznie. Ten opis stanowił dobre wprowadzenie w dalszą część rozprawy, to jest do części badań własnych.

Kolejny, czyli piąty rozdział nosi tytuł „Część badawcza”, natomiast szósty „Eksperyment badawczy-dyskusja wyników”. Taki podział jest dyskusyjny i w wielu rozprawach stanowi jeden wspólny rozdział obejmujący całość badań i bywa podzielony na: metodykę, wyniki badań i ich omówienie. Podział zaproponowany przez Doktoranta też ma swoje zalety więc jest w pełni do zaakceptowania. Rozdział piąty stanowi szczegółowy opis metodyki badań. Składa się z czterech podrozdziałów obejmujących przedmiot badań, wybór kultur bakterii, analityczne procedury badań wody oraz etapy i zakresy prac badawczych. Najważniejszym jest rozdział szósty, który wraz z rozdziałem pod tytułem „Dodatki” przedstawia same wyniki badań i ich charakterystykę. Wyniki te pokazano na rysunkach i w tabelach oraz w rozdziale „Dodatki” zestawiono same wyniki pomiarów w formie tabelarycznej. Te rozdziały (5 i 6) pokazują dojrzałość Doktoranta w samodzielnym myśleniu i analizowaniu zjawisk oraz pomysłowość w konstruowaniu systemu do dezynfekowania wody sieciowej przy wykorzystaniu ozonu.

Rozdział 7 jest zwięźczeniem doświadczeń uzyskanych przez Autora podczas prac związanych z organizacją pracy podczas eksploatacji sieci wodociągowej. Zawarte w nim procedury ze szczegółowym opisem i kolejnością działań są niezmiernie ważne i mogą stanowić przykład, jak należy przygotować się do działań związanych z dezynfekcją odpowiednich odcinków sieci. Mogą stanowić pomoc dla pracowników nadzoru innych zakładów wodociągowych.

W rozdziale 8 zamieszczono podsumowanie i wnioski. Rozdział 9 zawiera streszczenie rozprawy w języku polskim, a rozdział 10 w języku angielskim. Rozdział 11 to spis literatury, 12 - spis tabel, 13 - spis rysunków, a rozdział 14 zawiera zestaw tabel z wynikami pomiarów, który, jak wspomniano wcześniej nosi tytuł „Dodatki”.

Rozprawa obejmuje 92 strony spójnego tekstu, 9 stron spisu piśmiennictwa, 2 strony streszczenia w języku polskim i 2 w języku angielskim, 3 strony obejmujące spis tabel i spis rysunków oraz 12 stron tabel z wynikami pomiarów. W tekście spójnym znajduje się 15 tabel

oraz 46 rysunków. Literatura obejmuje 124 pozycji, z których 95 to pozycje angielskojęzyczne, 21 w języku polskim, 2 w niemieckim oraz 6 skierowań do stron internetowych.

Główny cel pracy i hipotezy badawcze skierowane były na opracowanie procedury dezynfekcji wody w sieci wodociągowej przy wykorzystaniu mobilnego urządzenia do ozonowania. Zadaniem szczegółowym były badania skuteczności procesu ozonowania wody w warunkach laboratoryjnych, ułamkowo-technicznych i w skali technicznej. Uważam, że cel został osiągnięty, a hipoteza mówiąca o możliwości zastosowania ozonu i przez to skrócenia czasu dezaktywacji patogenów udowodniona.

Wykonane przez Doktoranta badania uważam za wartościowe zważywszy na ich zakres i wnikliwość. Na podkreślenie zasługują osiągnięcia Doktoranta w pokonywaniu trudności, jakie powstają podczas wszelkich badań eksperymentalnych, a które wymagają zaangażowania, dokładności i pracowitości.

Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta zaliczam.

1. Wykazanie wysokiej skuteczności dezaktywacji mikroorganizmów w stosunkowo krótkim czasie przy pomocy mobilnego urządzenia wykorzystującego ozon. Co bardzo istotne, skuteczność wykazano również w odniesieniu do rurociągów starych z osadami soli żelaza oraz przy podwyższonej mętności wody. Jednak w takim przypadku, jak stwierdzono należy wydłużyć czas kontaktu ozonu z wodą.
2. Opracowanie i przedstawienie w rozprawie procedury dezynfekcji sieci wodociągowej przy pomocy wody odgazowanej, a następnie silnie zaozonowanej Woda po dezynfekcji, jak wykazano, może być bezpośrednio odprowadzana do środowiska, gdyż ze względu na szybki rozpad ozonu jego resztkowe stężenia są na znikomym poziomie. Wykazano także, że rozkład ozonu do tlenu przebiega zgodnie z równaniem, kinetycznym pierwszego rzędu.
3. Pokazanie metodycznego podejścia do badań, w którym zachowano logiczny ciąg postępowania, a więc badania w skali laboratoryjnej, ułamkowo-technicznej i technicznej. W badaniach laboratoryjnych wprowadzono zmienność niektórych parametrów, a więc pH i zasolenia, tak aby wykazać wpływ poszczególnych składników wody na efekt szybkości rozkładu ozonu. Z tego względu stosowano do badań, kolejno wodę destylowaną, wodociągową, zaszczerpioną mikroorganizmami patogennymi oraz wodę o zmienianej wartości pH i wodę o różnych stężeniach chlorków.

4. Wykazanie, że dezynfekowanie wody w istniejących starych rurociągach z osadami jest także skuteczne, lecz wymaga dłuższego, w stosunku do rur czystych (nowych) czasu prowadzenia procesu oraz po zakończeniu procesu wymagane jest intensywne i wydłużone płukanie rur. Ozon częściowo rozpuszcza osady, które są po tym procesie podniesione i słabiej przytwierdzone do powierzchni wewnętrznej przewodów, a więc bardziej podatne na usunięcie podczas płukania.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że podjęto się badań w warunkach naturalnych, to jest normalnie funkcjonujących podsystemów wodociągowych. Takie badania są zdecydowanie trudniejsze do analizy i interpretacji, gdyż muszą uwzględniać czasowe odłączenie części odbiorców wody. Takie badania są zawsze kłopotliwe wiążą się z trudnościami dokładnego zaplanowania terminów oraz niedogodnościami wynikającymi z występowania zjawisk i sytuacji trudnych do przewidzenia. Mimo trudności w realizacji, wyniki tak prowadzonych badań dają końcowe wnioski bardzo wartościowe.

Na podkreślenie zasługuje przyznanie się przez Autora rozprawy do niektórych trudności np. z utrzymaniem temperatury eksperymentu (str. 66). Czasem w opracowaniach naukowych autorzy „ukrywają” zdarzające się niepowodzenia, co jest błędem. W procesie doktoryzowania rozprawa doktorska nie jest celem samym w sobie, lecz ma być wyeksponowaniem i podkreśleniem zdobytych wcześniej własnych kompetencji. I w tym przypadku przyznanie się do niepowodzenia i proponowanie środków zaradczych, które mają wyeliminować niedoskonałości jest właśnie przykładem kreatywnego myślenia Doktoranta i potwierdzeniem zdobytych kompetencji.

Dyskusyjne uwagi merytoryczne

Uwagi zawarte poniżej jak widać po tytule są dyskusyjnymi, a wyniknęły podczas studiowania rozprawy. Powstały po przemyśleniach samej pracy i zostały wyeksponowane dla zachęty do kontynuowania badań i obserwacji, a w konsekwencji uszczegółowienia wyników, które w dalszej części mogą być opublikowane w dobrych czasopismach. Również liczę na wartościową dyskusję merytoryczną z Doktorantem podczas obrony rozprawy.

1. Analizując metodykę i wyniki eksperymentów zastanawiające są wyniki pomiarów laboratoryjnych z wykorzystaniem wody destylowanej. System SPID dawał możliwość produkcji wody z ozonem o stężeniu $2 \text{ mgO}_3/\text{dm}^3$ (str. 50). Wykonano badania w formie 3-ech serii o ciśnieniach początkowych 4 bary (seria 1 i 2) i 1 bar

(seria 3), natomiast początkowe stężenia ozonu w wodzie w rurze laboratoryjnej wyniosły, odpowiednio w serii 1 – 1,65 bara, serii 2 – 0,55 bara, serii 3 - 0,92 bara. Jestem świadomy, że badania były wykonywane przy malejącej temperaturze, jednak takie różnice są zaskakujące. Zgodnie z prawem Henry'ego „rozpuszczalność gazów w cieczach wzrasta wraz z obniżaniem temperatury i wzrostem ciśnienia”. Jak wytłumaczyć to zjawisko, jakie wystąpiło w pomiarach?

2. W jaki sposób utrzymywano ciśnienie w rurach pomiarowych podczas badań? Na rys. 23 i 27 nie ma wykazanego hydroforu, więc rozumiem, że pompa pracowała podczas całego cyklu badawczego w sposób ciągły. W tej sytuacji podczas pobierania próbek wody w kolejnych „paczkach” minut do rury dopływały nowe porcje wody. Ta sytuacja mogła mieć szczególne znaczenie w badaniach laboratoryjnych, gdyż w rurze mieściło się niecałe 8 litrów. Czy pobór próbek i dopływ nowej porcji wody nie zaburzał wyniku? Czy nie zmieniała się temperatura wody w rurze badawczej? W tabelach D.1.1, D.1.2, D.1.3 itp. podano stałą temperaturę dla każdej serii, a jak wiadomo w „zamkniętych” obiegach pompy podczas cyrkulacji silnie podgrzewają wodę. Poszczególne cykle badań trwały po kilka godzin, a cykl 3 w serii II trwał nawet około 11 godzin. W przypadku badań w skali ułamkowo-technicznej niewątpliwie ten wpływ był mniejszy, ale tu z kolei pobierano aż 4 próbki. W opisie metodyki brakuje informacji – jakiej objętości były poszczególne próbki.
3. Zasadniczą uwagą do rozprawy jest zdecydowanie zbyt „oszczędny” opis metodyki. Prawdopodobnie przy szczegółowym opisie metodyki zawierającym podstawowe informacje np. co i jak było mierzone, ile razy, w jakim czasie, jak mierzono, jak odczytywano itd. (nie chodzi tu o sam pobór próbek) uwag i wątpliwości powyższych byłoby znacznie mniej. Na przykład z pracy nie udało mi się zorientować, jakie były liczebności próbek badań wody. Brakuje komentarza w odniesieniu do Clostridium, które poza nielicznymi przypadkami od początku mało wartość zerową. A ile razy powtarzano pomiary przy tych samych warunkach, aby można było zastosować narzędzia statystyczne? Jeśli liczebność pomiarów jest odpowiednia wówczas podaje się, przynajmniej średnią, medianę, odchylenie standardowe, wartość maksymalną i minimalną. Wówczas wnioskowanie jest daleko bogatsze. Daje to również możliwość wychycenia wartości odstających i ewentualnego ich wyeliminowania korzystając z różnych metod, np. kryterium Chauveneta, testy Dixona, Grubbsa, Gaussa 3σ itp. Te

wątpliwości dotyczące liczebności powtórzeń odnoszę przede wszystkim do badań laboratoryjnych i skali ułamkowo-technicznej. W przypadku skali technicznej ze względu, jak się okazało bardzo dobrą skuteczność dezynfekcji powtarzanie byłoby niezmiernie trudne, a właściwie niemożliwe. Ale brakuje informacji o liczebności próbek samych badań analitycznych, co jest szczególnie istotne w badaniach liczebności mikroorganizmów, które w szczególności opierają się na statystyce.

4. Trochę zaskakująca i myląca jest numeracja tabel z wynikami w „Dodatku”. Tabele z numeracją D.1... odnoszą się do badań laboratoryjnych i logika by podpowiadała, aby badania w skali ułamkowo-technicznej miały numerację D.II... a w skali technicznej D.III... Tu mamy numerację w skali ułamkowo-technicznej od D.II.4 do D.II.11, a w skali technicznej od D.II.12 do końca. Natomiast seria III w badaniach laboratoryjnych, które mają numerację D.1... ma numeracje D.II.1 – D.II.3 czyli numeracje jak w badaniach ułamkowo-technicznych i w skali technicznej. Czy było to świadome działanie i miało jakiś cel?
5. Str. 34-35 – tabela 8 – takie zestawienie metod uzdatniania i przypisywanie do konkretnego kraju jest mocno wątpliwe (wiem, że jest to cytowanie za odpowiednią pozycją z literatury). Bez względu na kraj, analiza wody pobranej z ujęcia i wymagania jakościowe wody uzdatnionej determinują dobór rodzajów i kolejność procesów technologicznych.
6. Str. 39 – 9 ÷ 10 wiersz od góry – Jest „Ciśnienie na złożach osiąga poziom 0,6 MPa.” Jak to rozumieć? Z jakiego powodu jest tak wysokie ciśnienie, jeśli dalej jest zbiornik retencyjny?
7. Str. 43 – rys. 15 – czy rzeczywiście woda surowa w pierwszej kolejności podawana jest procesowi odwróconej osmozy, a następnie są dalsze procesy (napowietrzanie i filtrowanie na filtrach pospiesznych)? Jak rozumieć „Baypass”?

Uwagi edytorskie

- Str. 5 – 4 wiersz od góry – w tym miejscu, jak i w wielu innych Doktorant używa sformułowania „woda pitna”. Bardziej poprawnie jest „woda do picia” lub „woda do spożycia”.
- Str. 11 – jest „3.2. Rodzaje dezynfekcji wody”, lepiej byłoby „Rodzaje metod dezynfekcji wody”.

- W rozprawie tylko na początku każdego rozdziału lub podrozdziału Doktorant stosuje akapity. Niestety w dalszej części zauważa się zupełny brak akapitów.
- Str. 20 – zdanie od 14 do 19 wiersza od góry – nie jest wyjaśnione jak interpretować graniczną wartość PWO. Czy ta granica to jest kres górny, czy dolny?
- Str. 36 – 9 wiersz od góry – mętność nie mierzy się w mg Pt/dm³.
- Str. 41 – 42 – Rys. 11, 12 i 13 – na osiach pionowych mętność jest wyrażana w mg/l. Czy to są mg SiO₂/l? Obecnie mierzy się w NTU.
- Str. 53 – Rys. 27 i opis poniżej rysunku – wydaje mi się, że odwrócono numerację stanowisk badawczych.
- Str. 55 – Rys. 29 – w tekście nad rysunkiem jest skierowanie do Rys. 27 zamiast do Rys. 29.
- Czytelnik ma kłopot z rysunkami 30, 31 i 32, gdyż są mało czytelne. Nie pozwalają zlokalizować miejsc, odcinków itp. Może należało je obrócić i powiększyć do rozmiaru A4. Oprócz tego opisy w tekście odnoszone do kolorów na rysunkach nie są zgodne z kolorami na tych rysunkach. Być może zawiodła, w tym przypadku kolorystyka drukarki.
- Str. 66 i dalsze – w rozprawie w bardzo wielu miejscach używano atm jako jednostki ciśnienia. Nie są to jednostki z SI.
- Str. 67 – Tabela 11 - Jest „μS”. Przewodnictwo powinno być wyrażone w μS/cm.
- Str. 87 – Rys. 42 – czym się różni „coli” opisane czerwoną kropką od „coli” opisanego niebieską.
- Str. 120-122 – tabele DII6, DII7, DII10 i DII11 – Błędnie jest wpisana wartość pH.

Wniosek końcowy

Rozprawę doktorską mgr inż. Józefa Natonka uznaję za sumienne, wnikliwe i konsekwentnie przeprowadzone opracowanie podjętego problemu badawczego. Cel pracy został osiągnięty, a tezy badawcze udowodnione. Doktorant wykazał należyte przygotowanie teoretyczne i praktyczne, znajomość współczesnej literatury dotyczącej tematu pracy oraz umiejętność zaplanowania i przeprowadzenia badań. Autor pokazał, że potrafi prawidłowo zinterpretować uzyskane wyniki. Należy także dodać, że praca napisana jest bardzo dobrze pod względem językowym, tak, że nawet trudne wywody czyta się przyjemnie i z łatwością śledzi myśl Doktoranta.

Mając, zatem na uwadze podaną wyżej pozytywną ocenę osiągnięć Autora rozprawy stwierdzam, że praca pt. „Wykorzystanie ozonu w dezynfekcji i podnoszeniu bezpieczeństwa eksploatacji sieci wodociągowej” spełnia warunki obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595) z późniejszymi zmianami (Dz. U. z 2016 r., poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311, oraz w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz.U. 2018 poz. 1668, Dz. Ust. Z dnia 20 stycznia 2020 r. poz. 85), Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. Ust. Z 2018 r. poz. 261), dlatego wnioskuję o jej przyjęcie, jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Józefa Natonka do publicznej obrony w Politechnice Śląskiej przed Radą Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Dziedzinie Nauk Inżynieryjno-Technicznych.

prof. dr hab. inż. Tadeusz Siwiec

