

dr hab. inż. Maciej Szwast, prof. uczelni
Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej
Politechniki Warszawskiej
00-645 Warszawa, Waryńskiego 1

Warszawa, 14.04.2025 r.

Ocena
rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Krystiana Czuby
pt: *Odzysk wody i surowców z oczyszczonych ścieków komunalnych z wykorzystaniem*
zintegrowanego układu ultrafiltracja-nanofiltracja-wymiana jonowa.

Niniejszą ocenę przygotowałem na prośbę Pana Profesora Roberta Króla, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej, wyrażoną w skierowanym do mnie piśmie z dnia 20.02.2025 r.

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Krystiana Czuby pt: *Odzysk wody i surowców z oczyszczonych ścieków komunalnych z wykorzystaniem zintegrowanego układu ultrafiltracja-nanofiltracja-wymiana jonowa* została napisana pod opieką promotor pani prof. dr hab. inż. Małgorzaty Kabsch-Korbutowicz oraz promotor pomocniczej pani dr inż. Darii Podstawczyk. Praca liczy 203 strony, na których zamieszczone są kolejno: spis treści, wykaz skrótów, streszczenie w języku polskim, streszczenie w języku angielskim, 6 rozdziałów głównych, bibliografia zawierająca 337 pozycji, spis źródeł internetowych zawierający 27 pozycji, spis tabel i rysunków oraz 2 załączniki.

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi nowoczesne i interdyscyplinarne opracowanie naukowe, które wpisuje się w aktualne kierunki badań nad odzyskiem zasobów ze ścieków i wpisuje się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym. Praca wyróżnia się wysokim poziomem merytorycznym, przemyślaną metodyką oraz praktycznym potencjałem wdrożeniowym. Praca została zredagowana bardzo starannie i zilustrowana wysokiej jakości rycinami.

Autor określił w swojej pracy cel, którym było określenie możliwości odzyskiwania wody i surowców z oczyszczonych ścieków komunalnych z wykorzystaniem zintegrowanego układu technologicznego, obejmującego procesy ultrafiltracji, nanofiltracji, wymiany jonowej oraz chemicznego strącania. Sformułowanie celu pracy oraz zakresu badań prowadzących do jego

realizacji jest bardzo przejrzyste. Doktorant postawił aż 6 hipotez badawczych, które zaplanował dowieść poprzez realizację 6 odpowiadających im zadań. Stwierdzam, że cel ogólny pracy został osiągnięty, a postawione hipotezy badawcze udowodnione.

Praca wyróżnia się oryginalnością w zakresie podejścia technologicznego. Zastosowanie szeregu technik membranowych oraz wymiany jonowej, a także strącania odzyskanych jonów czyni tę rozprawę doktorską cenną z punktu widzenia nauki oraz przemysłu.

Choć praca została starannie zredagowana i napisana poprawnym oraz zrozumiałym językiem, momentami cechuje ją zbyt rozwlekły styl. Szczególnie jest to zauważalne w rozdziale dotyczącym przeglądu literatury. Utrudnia to zrozumienie istoty problemu badawczego. Uważam, że ten rozdział można byłoby zdecydowanie skrócić bez straty na wartości merytorycznej pracy.

Drobne uwagi, które nasunęły mi się podczas lektury:

- zdecydowanie poprawniejszą nazwą wielkości fizycznej nazywanej przez Doktoranta „natężeniem przepływu” jest „strumień objętościowy”,
- używanie jednostek „SO₄/L”, „Cl/L” itd., mimo że jest przyjęte w zastosowaniach branżowych, nie powinno mieć miejsca w pracy naukowej. Są to jednostki dotyczące stężenia jonów, zatem zapis powinien uwzględniać stopień utlenienia,
- nazwa „wydajność hydrauliczna membran” nie jest prawidłowa, a także nie przekazuje czytelnikowi istotnych informacji. Doktorant raz odnosi ten parametr do całego modułu, innym razem przelicza na jednostkę powierzchni membrany. Brakuje w tych rozważaniach (rozd. 5.1.1) informacji o stosowanym ciśnieniu (informacja ta jest co prawda w rozdziale 4.3.2, ale trzeba do niej wracać). Wielkością fizyczną, którą w tym miejscu powinien posługiwać się Doktorant, czyli wielkością fizyczną określającą właściwości badanej membrany, jest współczynnik przepuszczalności, którego jednostką jest [m³/(m²·s·bar)],
- brak pełnej zgody pomiędzy danymi w Tabeli 9 a bilansem przedstawionym na Rysunku 14. Nie są to różnice podważające prawidłowość przeprowadzenia bilansów masy, jednakże jest to pewna niespójność w analizie wyników.

Kwestie, które chciałbym przedyskutować z Doktorantem podczas publicznej obrony są następujące:

- już analiza Rysunku 6 wzbudziła moje zaniepokojenie dotyczące braku strumienia retentatu w procesie ultrafiltracji. Kilka linijek niżej Doktorant rzeczywiście

wyjaśnia, że prowadzi ten proces membranowy w trybie „dead-end”. Tu pojawia się pytanie u czytelnika, dlaczego jednak nie w przepływie krzyżowoprądowym (cross-flow). Odpowiedź na to pytanie można znaleźć na stronie 70. Tu doktorant tłumaczy, powołując się na swoją wcześniejszą publikację oznaczoną [24], że stosowanie przepływu krzyżowego nie przynosiło ograniczania foulingu. To jednak przeczy istocie prowadzenia procesów membranowych w układzie cross-flow. Gdyby tak istotnie było, nieuzasadnione byłoby rozważanie tego typu konfiguracji strumieni. Niestety ani praca doktorska, ani wspomniana publikacja [24] nie dostarcza informacji o parametrach operacyjnych procesu prowadzonego w układzie cross-flow. W szczególności interesująca jest wartość prędkości ścinania lub wartość przepływu nadawy wzdłuż modułu. Być może ta prędkość była źle dobrana i z tego wynikał brak ograniczenia foulingu?

- dlaczego Doktorant w rozdziale 5.1.1 utożsamia wsadowy charakter procesu z maksymalizacją odzysku wody? Jeżeli proces prowadzony jest w układzie dead-end, to odzysk w procesie ultrafiltracji jest zasadniczo równy 100% niezależnie od tego, czy nadawa podawana jest okresowo (wsadowo) czy w sposób ciągły,
- zastanawiający jest przebieg krzywych na Rysunku 10. Takie właśnie przebiegi uzyskuje się podczas prowadzenia procesów membranowych, podczas których okresowo przeprowadza się odnawianie powierzchni membran na przykład poprzez płukanie wsteczne. Doktorant jednak wyjaśnia, że z powodów oszczędności wody zrezygnował z prowadzenia płukania wstecznego, zaś przerwy są wymuszane tylko w celu przeprowadzenia w tym czasie procesu nanofiltracji na nadawie będącej permeatem ultrafiltracji. Stąd moje pytanie: co powoduje w czasie tego postoju odnowienie powierzchni membran, które manifestuje się znaczącym wzrostem strumienia permeatu po każdorazowym wznowieniu pracy instalacji ultrafiltracji?
- Doktorant stosował membrany o cut-off wynoszącym 80 kDa, czyli membrany, których pory w przybliżeniu wynosiły kilkanaście nanometrów. Skąd zatem w permeacie po ultrafiltracji obecność bakterii *E. coli*, których rozmiar jest na poziomie kilkuset nanometrów oraz *Clostridium perfringes*, których rozmiar jest nawet nieco większy? Taka informacja jest bardzo niepokojąca w kontekście oczyszczania wody do celów spożywczych lub rolniczych. Niestety brakuje tu krytycznego spojrzenia na ten aspekt. Doktorant pozostawił tylko suchą informację na temat obecności mikroorganizmów, których liczba (300 jtk/ml) nie jest niska.

Wniosek końcowy

Pracę doktorską mgr. inż. Krystiana Czuby oceniam pozytywnie. Praca stanowi istotny wkład w technologię odzysku wody i cennych surowców oraz rozwija koncepcje związane z gospodarką obiegu zamkniętego. Sformułowane przeze mnie w treści recenzji uwagi mają charakter porządkowy i zachęcający Doktoranta do dyskusji podczas publicznej obrony.

Stwierdzam, że recenzowana praca odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce i **składam wniosek** do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej **o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Rozprawa doktorska wnosi znaczący wkład w rozwój dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, zarówno na poziomie teoretycznym, jak i praktycznym. Autor opracował nowatorskie, zintegrowane podejście do odzysku wody i surowców ze ścieków komunalnych, w pełni wpisujące się w założenia gospodarki obiegu zamkniętego. Praca cechuje się bardzo szerokim zakresem merytorycznym i wyraźnie multidyscyplinarnym charakterem, obejmującym zagadnienia z zakresu inżynierii procesowej, chemii, technik membranowych oraz ochrony środowiska. Na szczególne uznanie zasługuje również wysoki poziom merytoryczny, oryginalność rozwiązań badawczych oraz ich potencjał aplikacyjny. Z uwagi na powyższe **wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej** mgr. inż. Krystiana Czuby.

 **PODPIS ZAUFANY**
MACIEJ
SZWAST
14.04.2025 08:21:38 [GMT+2]
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym