dr hab. Joanna Kujawa, prof. UMK
Wydział Chemii
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
Ul. Gagarina 7
87-100 Toruń
email: joanna.kujawa@umk.pl

Toruń, 1.08.2022

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauliny Sienkiewicz pt. „Membrany polimerowe modyfikowane nanocząstkami do oczyszczani wody i ścieków" wykonanej w Katedrze Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.
Promotor: prof. dr hab. inż. Sylwia Mozia

Podstawą recenzji rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Pauliny Sienkiewicz było pismo Dziekana Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, prof. dr. hab. inż. Rafała Rakoczy z dnia 30 czerwca 2022 r. z prośbą o przyjęcie przeze mnie funkcji recenzenta rozprawy doktorskiej.

Ogólna ocena pracy

Tematyka pracy doktorskiej wpisuje się w zagadnienia chemii i inżynierii materiałowej oraz membranowych procesów separacyjnych. We wszystkich tych obszarach nauki bardzo istotnym kierunkiem rozwoju jest poszukiwanie nowych materiałów o polepszonych właściwościach transportowych, separacyjnych czy zwiększonej odporności. Poprzez wprowadzenie modyfikacji do materiałów membranowych możliwe jest nie tylko polepszenie ich efektywności w separacji, ale również wydłużenie ich żywotności, zwiększenie odporności mechanicznej czy zredukowanie problemu zarastania membran (problem foulingu). Zaprezentowana praca wpisuje się w te kierunki rozwoju.

Praca posiada klasyczny układ przyjęty dla prac doktorskich, napisana jest językowo bardzo poprawnie i przygotowana starannie edytorsko. Doktorantka swobodnie posługuje się terminologią naukową, co świadczy o ugruntowanej wiedzy z dziedziny. Zaprezentowane wykresy, rysunki i tabele dają pełny obraz wykonanej pracy, tj. przeprowadzenie przeglądu literatury, postawienie hipotez badawczych, zaplanowanie eksperymentów, ich realizacja i wyciągniecie wniosków.

Cała praca liczy 185 stron, z czego część literaturowa to 37 stron, a doświadczalna z dyskusją wyników 84. Ponadto praca zawiera spis treści, wykaz stosowanych skrótów i symboli, wstęp, obszerną

bibliografię (352 pozycje, z czego 19% to prace z ostatnich 5 lat), spis rysunków (54 pozycje), tabel (20 pozycji), streszczenie w języku polskim i angielskim oraz dorobek naukowy Doktorantki.

Część literaturowa w sposób szczegółowy charakteryzuje ciśnieniowe procesy separacyjne, mikro- ultra- i nano- filtrację, opisuje problem foulingu i polaryzacji stężeniowej, a następnie prezentuje rodzaje membran i modułów membranowych. Dużo uwagi zostało poświęcone metodom wytwarzania membran polimerowych, zagłębiając się w fizykochemię procesów oraz technikom modyfikacji membran polimerowych. W kolejnej części, przedstawione zostały metody syntezy nanomateriałów, m.in. metoda zol-żel, strącanie, metoda hydro i solwotermalna, czy chemiczne osadzanie z fazy gazowej. W końcowej części przeglądu literatury, Doktorantka skupiła się na opisie wytwarzanie membran modyfikowanych nanocząstkami, m.in. TiO_2, Al_2O_3, SiO_2, nanorurkami węglowymi i haloizytowymi jak również nanorurkami tytanianowymi, będącymi elementem zainteresowań naukowych i materiałem wykorzystanym w pracy badawczej.

Dorobek naukowy mgr inż. Pauliny Sienkiewicz to 10 publikacji w czasopismach z listy JCR, o łącznym współczynniku oddziaływanie impact factor 24,845, Doktorantka jest w jednej z prac pierwszym autorem. Obecnie indeks Hirsha wynosi 4, a całkowita ilość cytowani bez autocytowań to 40. Ponadto, w dorobku publikacyjnym Doktorantki jest 12 pozycji w materiałach konferencyjnych i pokonferencyjnych. Mgr. inż Paulina Sienkiewicz podczas realizacji studiów doktoranckich brała udział w konferencjach naukowych (6 krajowych i 1 zagraniczna) 7 razy biorąc aktywny udział (4 wystąpienia ustne i 3 postery). Na swoim koncie ma dodatkowo współautorstwo w 4 posterach. Istotnym elementem w dorobku jest współautorstwo w 6 patentach i zgłoszeniach patentowych oraz 2 kolejnych, które zostały złożone. Doświadczenie naukowe mgr inż. Paulina Sienkiewicz zdobywała podczas realizacji badań w projekcie z Narodowego Centrum Nauki. Jej osiągnięcia zostały docenione, nagrodą za najlepszy poster podczas XIV Szkoły Membranowej w roku 2017 oraz otrzymaniem stypendium Prezydenta Miasta Szczecina.

Strona merytoryczna pracy

Praca doktorska poświęcona jest zaprojektowaniu polimerowych membran na bazie polieterosulfonu (PSU) dodatkowo modyfikowanych nanorurkami tytanianowymi (TNT) oraz nanocząstkami kompozytowymi na bazie TNT i srebra (Ag). Nanomateriały były syntetyzowane przez Doktorantkę. Celem poznawczym pracy było zbadanie wpływu parametrów formowania membran na ich właściwości fizykochemiczne, separacyjne i transportowe jak również określenie odporności na fouling i biofouling w trakcie procesu ultrafiltracji. Bardzo wiele uwagi zostało poświęcone na badania określające jak sposób rozproszenia nanomateriału w matrycy polimerowej, obecność srebra w nanomateriale i dodatek czynników porotwórczych (PVP and PEG) może wpływać na właściwości membran. Wytworzone membrany jak i zsyntetyzowane nanomateriały zostały szczegółowo

UNIWERSYTET MIKOŁAJA KOPERNIKA W TORUNIU Wydział Chemii
ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń, Polska, tel. +48 56 611 43 02, e-mail: wydzial@chem.umk.pl
chem.umk.pl

scharakteryzowane wieloma technikami analitycznymi i instrumentalnymi. W celu określenia parametrów nanomateriałów Doktorantka użyła m.in. dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), transmisyjnej mikroskopii elektronowej, spektroskopii Ramana, optycznej spektroskopii emisyjne ze wzbudzeniem w plazmie sprzężonej indukcyjnie (ICP-OES), pomiarów naładowania materiałów. Dodatkowo w celu określenia stabilności materiałów zawierających srebro wykonane było jego ługowanie. W końcowej części dotyczącej nanomateriałów, zbadane zostały właściwości antybakteryjne. W przypadku membran charakterystyka skupiała się zarówno na morfologii (pomiary mikroskopowe: – skaningowej mikroskopii elektronowej SEM, oraz mikroskopii sił atomowych AFM), pomiar porowatości, jak również określeniu parametrów fizykochemicznych, m.in. zwilżalność poprzez wyznaczenie kąta zwilżania i naładowanie powierzchni membran poprzez wyznaczenie potencjału zeta. Istotnym elementem był pomiar stabilności materiałów hybrydowych, dostarczający informacji o stabilności membran i określeniu ryzyka wymywania nanomateriałów, biorąc pod uwagę fakt, że modyfikacja była prowadzona na drodze fizycznej. Następnie zaprezentowano charakterystykę właściwości transportowych (pomiar strumienia wody) i separacyjnych (ultrafiltracja roztworów modelowych zawierających PEG i dekstryny) wytworzonych membran. W końcowym etapie wyznaczono podatność na blokowanie membran i podobnie jak w przypadku charakterystyki nanomateriałów, określono właściwości antybakteryjne.

W niektórych elementach pracy zostały podane wnioski, na które brak jest potwierdzenia, bądź powinny być skomentowane bardziej wnikliwie. Stwierdzenie podane na str. 51 „Zastosowanie struktur 1D do modyfikacji membran w celu ograniczenia ich podatności na biofouling może być również obiecującym kierunkiem badań ze względu na **możliwość mechanicznego uszkodzenia komórek bakteryjnych w wyniku ich kontaktu z nanocząstkami o ostrych krawędziach**". Zdefiniowanie tego kierunku badań, na podstawie szczegółowego przeglądu literatury, który jest również wskazaniem obszarów badawczych pracy doktorskiej nie został w pełni zbadany. W tym celu przede wszystkim należałoby prowadzić kontrolę lokalizacji nanocząstek (sterowanie lepkością roztworu polimerowego), tj. zatrzymanie ich jak najbliżej powierzchni membrany lub przeprowadzenie modyfikacji samej powierzchni materiału. Ponadto istotne byłoby wyznaczenie jakie siły są wymagane do mechanicznej degradacji bakterii. Takie pomiary mogę być niezwykle ciekawym dalszym kierunkiem badań dla Doktorantki, mając obecnie tak duże doświadczenie i wiedze po realizacji pracy doktorskiej.

W celu pracy postawione hipotezy brzmią bardziej jak wnioski sformułowane po realizacji badań.

W rozdziale 10 dotyczącym metodyki badań, czasami brakuje istotnych szczegółów jak poszczególne badania były realizowane. Ponadto, warto byłoby zaznaczyć, które z badań Doktorantka wykonywała samodzielnie, a które były np. zlecone.

Kilka brakujących szczegółów. Są to natomiast sugestie, na przyszłość, które absolutnie nie umniejszają jakości pracy doktoskiej, a mogę w kolejnych badaniach być pomocne, w celu realizacji

UNIWERSYTET MIKOŁAJA KOPERNIKA W TORUNIU Wydział Chemii
ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń, Polska, tel. +48 56 611 43 02, e-mail: wydzial@chem.umk.pl
chem.umk.pl

pomiarów z większą świadomość. Należy również wziąć pod uwagę, że bardzo często, w zależności od przyjętych zasad na uczelniach takie instrumentalne analizy są wykonywane w centralnych laboratoriach i Doktorantka mogła nie zostać zaznajomiona z niektórymi szczegółami.

- str. 53 - jakie było stężenie roztworu KCl użytego do pomiarów potencjału zeta?

- str. 58 – rozdział 10.3.4. Dlaczego zastosowano membrany z największą zawartością srebra, czy były jakieś testy, potwierdzające, że ta membrana jest najbardziej efektywna? Biorąc pod uwagę fizyczną drogę modyfikacji przy tak dużej zawartości może następować wymywanie nanomateriału.

- str. 59 – rozdział 10.4.1. Czy w trakcie analizy XRD były stosowane jakieś zabiegi poprawiające jakość widma, poprawka Raschingera, strip-K-alfa usuwające negatywny wpływ od lampy?

- str. 59 – rozdział 10.4.2 Dlaczego do analizy TEM wybrano siatki zawierające węgiel, wiedząc, że w badanej próbce jest bardzo dużo węgla. Jeśli to możliwe, lepiej unikać siatek posiadających te same pierwiastki co zawarte w próbce.

- str. 59 – rozdział 10.4.3 Powinny być podane czas i moc lasera.

- str. 60 – rozdział 10.4.5 Jaki gaz został użyty do odgazowania?

- str. 62 – rozdział 10.5.1 Czy były jakieś szczególne przesłanki na użycie targetu chromowego? Bardzo dobrze, że zostały użyte detektory SE i BSE dające pełniejszy obraz morfologii. Dobrze były również wykonać analizę z detektorem EDX, w szczególności dla przekroju, w celu potwierdzenia czy analizowane elementy faktycznie pochodzą od nanomateriału, czy są to może odbłyski od detektora.

- str. 62 – rozdział 10.5.2 Jaka była stała sprężystości (k) sondy pomiarowej?

- str. 62 – rozdział 10.5.3 Wykorzystanie analizy AFM do analizy rozkładu wielkości cząstek w strukturze membrany jest poprawne tylko wtedy, kiedy modyfikacja dotyczyła powierzchni. Przy wprowadzaniu modyfikatora do matrycy polimerowej ciężko ustalić, ile zostało materiału przy powierzchni i jaka część poszczególnych nanocząstek jest dostępna na samej powierzchni. Możliwe jest, że są one częściowo zatopione. Biorąc pod uwagę, że analiza była robiona ze zdjęć, pomiar może być obarczony dużym błędem.

- str. 62 – rozdział 10.5.4 W pomiarach goniometrycznych została wykorzystana bardzo duża objętość kropli, wg literatury powinna być ona między 2 a 5 µL. Użycie kropli 10 µL wprowadza duży błąd, ponieważ kropla jest ciężka i zafałszowuje mierzony pomiar. Szkoda, że nie została wyznaczona swobodna energia powierzchniowa dla próbek, bo to dałoby sporo informacji o efektywności modyfikacji i potwierdzeniu obecności nanomateriału na samej powierzchni.

- str. 63 – rozdział 10.5.7 Bardzo dobrze, że pomiary stabilności zostały wykonane, jest to kluczowe przy eksploatacji membran modyfikowanych fizycznie.

W rozdziale 11 Doktorantka przestawiła krok po kroku otrzymane wyniki badań, ta cześć pracy jest bogato ilustrowana pokazująca otrzymane rezultaty. Opis otrzymanych wyników jest opatrzony komentarzami ze strony Doktorantki oraz poparty danymi literaturowymi, co świadczy o bardzo

UNIWERSYTET MIKOŁAJA KOPERNIKA W TORUNIU Wydział Chemii
ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń, Polska, tel. +48 56 611 43 02, e-mail: wydzial@chem.umk.pl
chem.umk.pl

dojrzałym naukowym podejściu do interpretacji wyników badań. Kilka uwag sugestii dotyczących tego rozdziału.

- str. 67 – rozdział 11.1.1. Mając wyniki z pomiarów XRD warto byłoby również wyznaczyć z nich wielkości nanostruktur i porównać z wynikami z pomiarów TEM.

- str. 67 – rozdział 11.1.2. Warto by dodać dyfraktogram dla czystego srebra, co ułatwiło by wskazanie pasm pochodzących od nanomateriału.

- str. 69 – rozdział 11.1.2. Ponadto, czy była robiona analiza EDX podczas pomiarów TEM? W ten sposób szczegółowo można by wyznaczyć wielkości nanocząstek.

- str. 70 – rozdział 11.1.2. Dlaczego pomiar ługowania nie był prowadzony dłużej, aż do osiągniecia plateau?

- str. 74 – rozdział 11.2.1.1. Czy zaprezentowane obrazy SEM (rys. 15) na pewno były realizowane z detektorem BSE? Wyglądają na zdjęcia z SE. Jedynie fotografia dla 80/DMm faktycznie może być wykonana z użyciem detektora BSE.

- str. 77 – rozdział 11.2.1.1. „...albo wąskich słupków (szerokość poniżej 0,4 µm i wysokość 120nm).” czy zostały wykonane analizy kilkukrotnie w celu potwierdzenie obecności takich struktur? Takie „wąskie słupki” lub igły często są artefaktami podczas analizy AFM, dlatego dobrze jest przeskanować ten samo obszar 2 lub więcej razy. Ponadto powinno to zostać potwierdzone np. analizą SEM powierzchni membran oraz zaprezentowaniem wyniku fazowego z AFM. Jeśli są to elementy od nanomateriału będzie to widoczne.

- str. 82 – rozdział 11.2.1.2. Doktorantka nawiązuje do teorii DLVO, idąc dalej tą drogą warto by wyznaczyć stałą Hamakera dla nanocząstek w badanym medium, co dostarczyłoby bardzo wiele informacji o możliwości aglomerowania jak i o stabilności.

- str. 83 – rozdział 11.2.1.2. „R_a = 7,1(2,8) – 7,7 (3,4) µm” powinno być nm

- str. 83 – rozdział 11.2.1.2. Na rysunku 23 dla ostatniej próbki prawa dolna, brak oznaczenia jaka to membrana i oś z jest do 200 nm. Czy nie powinno być do 100 nm jak reszta próbek?

- str. 88 – rozdział 11.2.1.3. „Na podstawie wyników zebranych w tabeli 19 stwierdzono, że zastosowanie obu czynników porotwórczych (PVP oraz PEG) powoduje wzrost hydrofilowości membran” Czy Doktorantka brała pod uwagę przygotowanie membrany zawierające oba te czynniki jednocześnie?

- str. 89 – rozdział 11.2.1.3. w dyskusji na temat zmian wartości kątów zwilżania powinny być wzięte wartości parametrów chropowatości materiału.

- str. 90 – rozdział 11.2.1.3. Brak zmian w przebiegu krzywych dla potencjału zeta w funkcji pH potwierdza, że jest bardzo niewiele lub w ogóle nanocząstek modyfikatora na powierzchni. Co jest zbieżne z wynikami mikroskopowymi. Natomiast obserwowane niewielkie zmiany pomiędzy różnymi

UNIWERSYTET MIKOŁAJA KOPERNIKA W TORUNIU Wydział Chemii
ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń, Polska, tel. +48 56 611 43 02, e-mail: wydzial@chem.umk.pl
chem.umk.pl

membranami zostały dobrze przypisane zmianom w morfologii, w szczególności wpływ będzie mieć porowatość powierzchniowa i wielkość porów.

- str. 91 – rozdział 11.2.1.3. Mowa jest o występowaniu makroporów, do potwierdzenia typów porów przydało by się wyznaczenie niskotemperaturowych izoterm adsorpcji-desorpcji azotu. Ponadto, na rys. 27 nie widać zupełnie obecności nanomateriałów, z w tabeli 20 podawane są wartości średniej wielkości aglomeratów z analizy zdjęć SEM. Analiza taka powinna zostać zrobiona z przekrojów próbek obrazowanych na TEM, biorą pod uwagę wielkość aglomeratów. Powinno być również doprecyzowane czy „wielkość" określa średnice czy promień aglomeratów.

- str. 100 – rozdział 11.2.2.2. „gdy zawartość srebra była wyższa (U-PES_Ag_50/1,0 oraz -PES_Ag_100/1,0), zaobserwowano poprawę właściwości transportowych membran" czy takie zmiany nie związany były z faktem, że przy większej zawartości nanomateriału większość jego została wymyta z matrycy i wytworzyło to dodatkowe drogi transportu, ułatwiając transport wody przez membrany? W celu stwierdzenie tego, należałoby wykonać pomiar wielkości i rozkładu porów przed i wyznaczaniu właściwości transportowych. Dokładnie takie dane Doktorantka cytuje na kolejnej stronie, „… spadek strumienia permeatu tłumaczono blokowaniem porów membrany przez nanocząstki Ag, co prowadziło do zmniejszenia przenikania wody przez membranę [3]". Biorąc pod uwagę takie doniesienia literaturowe i wyniki otrzymane w pracy, można sądzić, że faktycznie sporo materiału jest wymywane.

- str. 102 – rozdział 11.2.2.2. „… wzrost strumienia permeatu wraz ze wzrostem ilości nanomateriału można wytłumaczyć **większą liczbą porów dostępnych w czasie filtracji**, co wynika zarówno z morfologii rurek tytanianowych (wielowarstwowe rurki z otwartymi końcami), jak i obecności porów utworzony w matrycy PES w wyniki oddziaływań nanomateriału z polimerem na etapie inwersji faz." Tak jak zostało już wspomniane wcześniej, należałoby potwierdzić ten fakt poprzez realizacje pomiarów wielkości porów (aktywnie biorących udział w transporcie) i ich dystrybucji w membranie, np. metodą porozymetryczną.

- str. 103 – rozdział 11.2.2.2. „… powiązać to można z powstawaniem dodatkowych kanałów ułatwiających transport wody ze względu na otwarte końce hydrofilowych nanorurek A-TNT/Ag/100." To raczej powinno być powiązane z hydrofilowym charakterem wypełniaczy – czynników porotwórczych.

- str. 106 – rozdział 11.2.3.1. „Dane te pokazują, że słaba dyspersja P-TNT może prowadzić do tworzenia się w warstwie separacyjnej porów o większych średnicach". Warto by to stwierdzenie potwierdzić jakimiś badaniami.

- - str. 109 – rozdział 11.2.2. W rozdziale tym, dotyczącym badań odporności membran na blokowanie brak jest zdefiniowanych podstawowych parametrów opisujących to zjawisko. Doktorantka wyznaczyła tylko zmiany strumienia permeatu w czasie 2h pomiarów. Nie ma informacji czy badany był znormalizowany spadek strumienia, odwracalny i nieodwracalny spadek strumienia. Te

UNIWERSYTET MIKOŁAJA KOPERNIKA W TORUNIU Wydział Chemii
ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń, Polska, tel. +48 56 611 43 02, e-mail: wydzial@chem.umk.pl
chem.umk.pl

parametry są niezwykle istotne i pokazują, czy nastąpiło blokowanie membran, czy po prostym procesie mycia można przywrócić wyjściowe parametry transportowe membran. Tendencja do foulingu powinna być również przedyskutowana z punktu widzenia naładowania powierzchnie, dane z potencjałów zeta zostały zaprezentowane w rozdziale 11.2.1.3, oraz z analizy zdjęć SEM dla membran przed i po procesie separacji.

- Biorąc pod uwagę, że wymywaniu ulegały nanomateriały należałoby to przedyskutować z punktu widzenia właściwości transportowych i separacyjnych czy obserwowany jest jakiś wpływ na te parametry membran.

- - str. 120 – rozdział 11.2.5.1 istotnie zauważono, że ściany komórkowe bakterii są bardzo wrażliwe i mogą łatwo ulec uszkodzeniu. Natomiast ciężko jest udowodnić czy faktycznie degradacja ta została wywołana kontaktem z nanomateriałem dostępnym na powierzchni membran. Na postawie zaprezentowany wyników można stwierdzić, że jest go bardzo mało. Z pomiarów AFM nie wiele widać, a parametry chropowatości zmieniają się nieznacznie. Może być to spowodowane tym, że na nanomateriale jest jeszcze warstewka polimeru. Biorąc pod uwagę, że potencjał zeta dla membran był praktycznie taki sam porównując natywną i modyfikowaną powierzchnie, warto by przygotować wybarwianie bakterii wymieszanych z samym nanomateriałem. Taki pośredni test bardzo ułatwiłby interpretację wyników i wyciągnięcie wniosków.

- str. 124 – rozdział 11.2.5.1. bardzo poprawnie została wspomniana teoria punkty przyłączenia, która tłumaczy między innymi wpływ chropowatości i naładowania powierzchni na adhezję, a końcowo na ilość elementów styku z powierzchnią. Warto by dla badanych próbek również wyznaczyć siłę adhezji.

- str. 124 – rozdział 11.2.5.1. „… zaobserwowano, że oprócz chropowatości bardzo ważnymi parametrami związanymi z właściwościami antybakteryjnymi membran były wielkość i kształt aglomeratów P-TNT”. Ciężko jest udowodnić to stwierdzenie, brak jest np. profilu przekroju elementów chropowatości z AFM, pokazującego kształt aglomeratów przy powierzchni.

Uwagi:

Str. 5 „różnymi **dawkami** $AgNO_3$” powinno być raczej „stężeniami”

Str. 26 „… kwasu akrylowego i itakanowego” – zaprezentowane nazwy związków nie są zgodne z IUPAC, powinno być kwasu 2-propenowego i 2-metylidenobutanodiowego. W innych miejsca w pracy również niektóre nazwy związków nie są zgodne z IUPAC, np. tytaniany powinny być przedstawione jako związki tytanu (IV).

Str. 118 „promotory burzliwości” przydał by się bardziej naukowy termin.

UNIWERSYTET MIKOŁAJA KOPERNIKA W TORUNIU Wydział Chemii
ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń, Polska, tel. +48 56 611 43 02, e-mail: wydzial@chem.umk.pl
chem.umk.pl

Pytania:

- dlaczego wybrana została fizyczna droga modyfikacji, nie chemiczna? Jak wiadomo z literatury, fizyczna modyfikacja często stwarza poważne problemy, braku stabilności materiału, poprzez wyciekanie/utratę dodawanego modyfikatora/nanocząstek.
- w części literaturowej (str. 26) wspomniane zostało „…obecność PVP obniża stabilność i zwiększa lepkość roztworu błonotwórczego zawierającego PSU…" przy wprowadzaniu nanomateriałów i chęci „zatrzymania" ich bliżej powierzchni potęgując właściwości antybakteryjne, kluczowym będzie kontrolowanie lepkości roztworu. Dlaczego w pracy ten niezwykle istotny parametr nie został zmierzony/kontrolowany?

Ocenia rozprawa kończy się licznymi wnioskami, a ponadto każdy rozdział został dodatkowo opatrzony podsumowaniem, co bardzo ułatwia czytanie i zrozumienie otrzymanych wyników badań.

Należy podkreślić, że Doktorantka wykonała olbrzymią ilość pomiarów związanych z przygotowaniem samych membran i syntezą nanomateriałów ich modyfikacjom, charakterystyką materiałową i fizykochemiczną nanomateriałów i membran. Jak również oceną efektywności membran w procesie rozdzielczym, charakteryzując właściwości transportowe jak i separacyjne. Skupiła się również na problemie blokowana membran. Brakującym elementem są testy efektywności membran w procesie oczyszczania wody i ścieków z wykorzystaniem próbek rzeczywistych lub chociaż roztworów modelowych zanieczyszczonej wody. Biorąc pod uwagę tytuł pracy doktorskiej, **„Membrany polimerowe modyfikowane nanocząstkami do oczyszczani wody i ścieków"** czytelnik oczekuje zobaczyć jak te membrany pracują w takich aplikacjach.

Podsumowanie

Podsumowując, recenzowana praca doktorska stanowi istotny wkład w problematykę wytwarzania nowych materiałów separacyjnych dodatkowo modyfikowanych, o polepszonych właściwościach transportowych, separacyjnych jak również materiałowych i fizykochemicznych. Stwierdzam, że praca mgr. Inż. Pauliny Sienkiewicz, zatytułowana, **„Membrany polimerowe modyfikowane nanocząstkami do oczyszczani wody i ścieków"** spełnia w pełni wymogi stawiane pracom doktorskim, określone w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21.06.2016 r. poz. 882). Wnoszę o dopuszczenie Pani mgr inż. Paulinę Sienkiewicz do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Joanna Kujawa

UNIWERSYTET MIKOŁAJA KOPERNIKA W TORUNIU Wydział Chemii
ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń, Polska, tel. +48 56 611 43 02, e-mail: wydzial@chem.umk.pl
chem.umk.pl