

Dr hab. inż. Jacek Wiśniewski, prof. PWr.

Wrocław, 5 stycznia 2018r.

Politechnika Wrocławska,

Wydział Inżynierii Środowiska,

Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

e-mail: jacek.wisniewski@pwr.edu.pl

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Hanny Jaroszek

pt.: *Otrzymywanie soli nieorganicznych metodą elektrodializy
z podwójną wymianą na przykładzie azotanu (V) potasu*

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Piotr Dydo, prof. Pol. Śl.

Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej z dnia 20.11.2017r.

Celowość podjęcia tematu

Elektrodializa to jeden z ważniejszych procesów membranowych. Proces ten, stosowany początkowo do odsalania wody słonawej, wraz z opracowaniem nowych rozwiązań membran jonowymiennych, znalazł wiele dodatkowych zastosowań, m.in. do otrzymywania soli spożywczej z wody morskiej z wykorzystaniem membran monoselektywnych, czy do wytwarzania kwasów i zasad z soli z wykorzystaniem membran bipolarnych. Liczne są także przykłady zastosowania elektrodializy w technologii oczyszczania wody i ścieków, tak do selektywnego usuwania niepożądanych jonów z wody przeznaczonej do picia (np. azotany i fluorki) oraz do odzyskiwania wartościowych składników ze ścieków przemysłowych (np. wody i soli metali z wód z płukania po trawieniu metali i po nakładaniu powłok ochronnych).

Doktorantka zastosowała proces elektrodializy do syntezy soli nieorganicznych z wykorzystaniem reakcji podwójnej wymiany. Pozwala to na otrzymanie wartościowych produktów z mniej użytecznych substratów. Elektrodializa z podwójną wymianą (ED-M) posiada szereg zalet w porównaniu z tradycyjnymi metodami otrzymywania soli nieorganicznych. Najważniejszą z nich jest wytworzenie oddzielnych strumieni produktów, co pozwala uniknąć problemów z wydzieleniem wartościowego produktu z wieloskładnikowej

mieszaniny. Proces ED-M pozwala także uniknąć lub zminimalizować wady tradycyjnych metod syntezy soli nieorganicznych: energochłonność, powstawanie uciążliwych ścieków oraz często niezadawalające stężenie i czystość produktu.

Obszerna baza literaturowa przeanalizowana przez Autorkę rozprawy pozwala stwierdzić, że procesowi elektrodializy z podwójną wymianą poświęconych jest niewiele publikacji. Dodatkowo, autorzy publikowanych prac analizują proces ED-M wycinkowo, co uniemożliwia zrozumienie wszystkich mechanizmów tego procesu i wyprowadzenie wniosków pozwalających na jego optymalizację. Wobec powyższego, podjęcie prac zmierzających do oceny przydatności elektrodializy z podwójną wymianą do syntezy soli nieorganicznych (na przykładzie azotanu (V) potasu) należy uznać za w pełni uzasadnione. Proces ED-M może stać się atrakcyjną alternatywą dla stosowanych obecnie metod syntezy soli nieorganicznych, pod warunkiem poznania czynników limitujących transport masy oraz najważniejsze wskaźniki syntezy (w tym: końcowe stężenie i czystość produktów). Doktorantka przeanalizowała szeroką gamę czynników wpływających na syntezę azotanu (V) potasu w procesie ED-M, w tym: gęstość prądu, skład i stężenie surowców, typ membrany jonowymiennej. Umożliwiło to opracowanie koncepcji sposobu prowadzenia elektrodializy z podwójną wymianą w celu syntezy azotanu (V) potasu oraz eksperymentalną weryfikację zaproponowanej koncepcji.

Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji praca liczy 164 strony (w tym 6 stron – to *Wykaz dorobku naukowego*), zawiera 38 rysunków, 31 tabel, a literatura obejmuje 151 pozycji. W tym miejscu warto podkreślić, że tak obszerna bibliografia, obejmująca w większości publikacje z lat dwutysięcznych ulokowane w renomowanych czasopismach naukowych, stworzyła mocną bazę do analizy stanu wiedzy w obszarze przeprowadzonych badań.

Praca została podzielona na dwie zasadnicze części:

- *Część literaturową*, która wraz z poprzedzającym ją krótkim *Wprowadzeniem* liczy 40 stron,
- *Część badawczą* (którą poprzedza opis celu i zakresu pracy) – ta część została zaprezentowana na 118 stronach. W części tej zostały przedstawione stanowiska badawcze, metody analityczne i obliczeniowe, wyniki przeprowadzonych badań i ich analiza oraz wnioski końcowe. Uzupełnieniem tej części są 2 załączniki: *Wyznaczenie stężenia na podstawie przewodnictwa* (Załącznik 1) oraz *Analiza termiczna próbek badanych membran* (Załącznik 2).

W krótkim *Wprowadzeniu* została uzasadniona celowość podjętej tematyki badawczej dotyczącej wykorzystania elektrodializy z podwójną wymianą do wytwarzania wartościowych soli nieorganicznych z mniej wartościowych substratów. W *Przeglądzie literatury* (rozdział

1.1 i 1.2) Autorka omówiła zagadnienie wytwarzania i wykorzystania wybranych soli nieorganicznych. Doktorantka skoncentrowała się na azotanie (V) potasu, uzasadniając, że jest to sól nieorganiczna o wielorakich zastosowaniach, która po wyczerpaniu złóż minerałów otrzymywana jest wyłącznie na drodze syntezy. Jednym z najważniejszych obszarów zastosowań tej soli jest rolnictwo: ze względu na fakt, że azotan (V) potasu składa się wyłącznie z podstawowych, bezpośrednio przyswajalnych składników pokarmowych roślin, toteż jest stosowany w uprawach wielu roślin (w tym: zbóż, roślin włóknistych oraz w uprawach szklarniowych).

W pracy omówiono 3 grupy współczesnych metod wytwarzania KNO_3 , podając przykładowe rozwiązania przemysłowych instalacji oraz zwracając uwagę na wady i zalety zastosowanej technologii. Metody wykorzystujące reakcje z kwasem azotowym są uciążliwe w stosowaniu z powodu konieczności użycia organicznych rozpuszczalników (metoda niskotemperaturowa), energochłonności i wysokich kosztów instalacji (metoda wysokotemperaturowa) lub ograniczonej dostępności soli potasowej KNO_3 używanej do neutralizacji kwasu azotowego (metoda zobojętniania). Technologia wytwarzania KNO_3 w oparciu o wymianę jonową wymaga kosztownego reagentu (KOH) do neutralizacji resztkowego kwasu azotowego oraz generuje znaczne ilości zasolonych ścieków. Z kolei metody konwersyjne, które oparte są na reakcjach podwójnej wymiany soli azotanowej i soli potasowej są metodami o dużym zużyciu energii, przy jednoczesnym nadmiernym zanieczyszczeniu produktu.

W drugiej części *Przeglądu literatury* (rozdział 1.3) Autorka rozprawy omówiła proces elektrodializy i przedyskutowała zjawiska zachodzące podczas przepływu jonów przez membrany jonowymienne (w tym – zjawisko polaryzacji stężeniowej i związaną z nim graniczną gęstość prądu). W tym rozdziale przedstawiono także stan wiedzy w zakresie badań nad przebiegiem i zastosowaniem elektrodializy z podwójną wymianą do syntezy soli nieorganicznych. Liczba publikacji dotyczących tego procesu jest bardzo ograniczona – Doktorantka powołuje się na 14 prac opisujących syntezę różnych soli nieorganicznych w procesie ED-M. Autorka podkreśla, że dotychczasowe prace skupiały się na ocenie wybranych wskaźników techniczno-ekonomicznych (takich jak wydajność prądowa, czystość produktu, jednostkowe zużycie energii), natomiast w pracach tych nie analizowano wpływu parametrów procesowych na przebieg elektrodializy z podwójną wymianą. Doktorantka słusznie zauważa, że dopiero pogłębiona wiedza o mechanizmach transportu składników układu w tym procesie pozwoli na określenie czynników limitujących syntezę soli w procesie ED-M, co w efekcie umożliwi optymalizację tego procesu.

Następnie sformułowany został cel i zakres pracy doktorskiej (rozdział 2). Należy zaznaczyć, że w świetle przeanalizowanej przez Doktorantkę bazy literaturowej zarówno cel oraz zakres pracy nie budzą zastrzeżeń.

W kolejnym rozdziale (rozdział 3) przedstawiono aparaturę doświadczalną oraz opisano metody analityczne i obliczeniowe. Ponadto, opisano metodykę badań transportu masy przez membrany jonowymienne. Warto tutaj dodać, że Autorka w dążeniu do poznania mechanizmów transportu soli i wody przez membrany jonowymienne prowadziła badania zarówno w warunkach bezprądowych (które odzwierciedlają procesy zachodzące podczas dializy dyfuzyjnej: dyfuzję soli i osmotyczny przepływ wody) oraz w polu elektrycznym (migracja jonów i elektroosmotyczny transport wody zachodzące w procesie elektrodializy).

W rozdziale 4. Doktorantka przedstawiła i przedyskutowała wyniki badań własnych. W początkowym etapie badań (rozdział 4.1) określono warunki brzegowe syntezy KNO_3 w procesie ED-M. Wyznaczono korzystny zakres gęstości prądu oraz minimalne stężenie surowców, przy którym nie występuje ryzyko przekroczenia granicznej gęstości prądu. Zwrócono także uwagę na zauważalne różnice w wartościach granicznej gęstości prądu dla membran heterogenicznych (Ralex i Ionsep) oraz homogenicznych (Selemion i Neosepta).

Następny etap badań (rozdział 4.2) zmierzał do wyboru pary membran o najkorzystniejszych właściwościach do syntezy azotanu (V) potasu. Doktorantka wyznaczyła strumienie soli (KNO_3) transportowanej przez membrany jonowymienne w warunkach bezprądowych (w wyniku dyfuzji) oraz w warunkach prądowych (w wyniku migracji w polu elektrycznym). Eksperymenty wykazały, że udział strumienia dyfuzji (odpowiedzialnego za straty produktu w wyniku dyfuzji wstecznej) w całkowitym strumieniu KNO_3 przez membrany Selemion nie przekracza 8%, przy gęstości prądu 200 A/m^2 , natomiast przy gęstości prądu 500 A/m^2 – nie przekracza 3% (przy znacznej różnicy stężeń, wynoszącej 3 mol/dm^3). Stanowi to istotną przesłankę wskazującą, że dyfuzja wsteczna nie przeszkadza w otrzymaniu nasyconego roztworu KNO_3 w procesie ED-M.

W kolejnych badaniach tego etapu Doktorantka wyznaczyła całkowity strumień wody transportowanej do komory głównego produktu (KNO_3) w wyniku procesów osmozy i elektroosmozy. Wykazano tu, że w badanych procesach dominuje mechanizm transportu wody w otoczkach hydratacyjnych jonów (tj. proces elektroosmozy). Pozwoliło to również wytypować membrany Selemion jako te, które charakteryzuje najmniejszy elektroosmotyczny strumień wody oraz najmniejszy całkowity strumień wody transportowanej do komory głównego produktu. Znalazło to następnie potwierdzenie we wstępnych wynikach prób syntez KNO_3 metodą ED-M z wykorzystaniem różnych membran jonowymiennych: w procesie

z membranami Selemion AMV i CMV uzyskano najwyższe stężenie końcowe produktu głównego (2,22 mol/m³) i ubocznego (2,25 mol/m³), najmniejsze zanieczyszczenie KNO₃ (0,54% wag.), przy wysokiej wydajności prądowej (96,6%) i niskiej wartości jednostkowego zużycia energii (0,336 kWh/kg KNO₃).

Uzupełnienie tej części badań stanowi analiza dotycząca korelacji wybranych parametrów charakteryzujących właściwości membran jonowymiennych i współczynników opisujących bezprądowy transport soli (KNO₃) i wody przez membrany. Autorka rozprawy wykazała m.in. występowanie silnie dodatniej korelacji stężenia grup jonowych (FIM) z końcowym stężeniem KNO₃ i z wydajnością prądową oraz silnie dodatniej korelacji zawartości wody w membranie (W) i transportu wody, szczególnie dominującego transportu elektroosmotycznego. Zależności te są w pełni zrozumiałe. Pewne *novum* stanowi natomiast wykazanie przez Doktorantkę brak statystycznie istotnych korelacji pojemności jonowymiennej membrany (IEC) ze wskaźnikami syntezy (w tym: z transportem wody i z końcowym stężeniem KNO₃). Stąd, uzasadniony jest wniosek Autorki rozprawy o małej przydatności tego powszechnie stosowanego parametru (IEC) do oceny właściwości membrany w procesie ED-M.

W kolejnym etapie badań (rozdział 4.3) Doktorantka przeanalizowała wpływ składu surowców na syntezę KNO₃. Jako surowce azotanowe stosowano: NH₄NO₃, NaNO₃, Ca(NO₃)₂, Mg(NO₃)₂, zaś jako surowce potasowe – KCl i K₂SO₄. Wykazano, że rodzaj surowca azotanowego wpływa w niewielkim stopniu na końcowe stężenie KNO₃, ale wykazuje wpływ na zawartość zanieczyszczeń w produktach. Dla uzyskania produktów o mniejszej zawartości zanieczyszczeń korzystne jest stosowanie soli wielowartościowych, jednak oznacza to zwiększone jednostkowe zużycie energii. Należy dodać, że zawartość zanieczyszczeń w KNO₃ zawsze była mniejsza od 2% wag., co oznacza, że każdy z otrzymanych produktów spełnia wymogi nawozów NK o niskiej zawartości chlorków.

W ostatnim fragmencie części eksperymentalnej rozprawy (rozdział 4.4) Doktorantka przedstawiła koncepcję oraz przeprowadziła weryfikację sposobu prowadzenia syntezy KNO₃ metodą ED-M, przy użyciu surowców: NH₄NO₃ i KCl. Porównano tutaj efekty procesu prowadzonego w układzie trójstopniowym z procesem jednostopniowym (wsadowym). Należy podkreślić bardzo dobre efekty syntezy prowadzonej w kaskadzie modułów do elektrodializy: uzyskano relatywnie wysokie stężenie produktu głównego, tj. KNO₃ (3,04 mol/dm³), o znikomej zawartości zanieczyszczeń (0,72% wag.). Osiągnięto także niskie jednostkowe zużycie energii (0,292 kWh/kg). Korzystne parametry charakteryzowały również produkt uboczny (NH₄Cl). Wykazano, że efekty syntezy prowadzonej w układzie trójstopniowym są

zdecydowanie lepsze od tych otrzymanych w układzie jednostopniowym (tylko zawartość zanieczyszczeń była nieznacznie wyższa). Uwzględniając zawartość zanieczyszczeń w produkcie, otrzymany azotan (V) potasu może być uznany jako nawóz azotowo-potasowy o niskiej zawartości chlorków.

Rozprawę doktorską zamyka (rozdział 5) obszernie podsumowanie i zwięzłe wnioski wynikające z wyników przeprowadzonych badań. Wnioski te są logiczne i w pełni uzasadnione.

Merytoryczna ocena rozprawy

Uważam, że temat podjęty przez Doktorantkę jest oryginalny i wartościowy. Bardzo rozległy zakres przeprowadzonych badań pozwolił na pełną realizację postawionego celu pracy, tj. określenia przydatności elektrodializy z podwójną wymianą do otrzymywania soli nieorganicznych, na przykładzie azotanu (V) potasu. Otrzymano roztwór KNO_3 o wysokim stężeniu (ok. 3 mol/dm^3), bardzo bliskim stężenia nasycenia. Niska zawartość zanieczyszczeń (ok. 0,7% wag.) pozwala uznać otrzymany produkt jako nawóz azotowo-potasowy. Jest to szczególnie warte podkreślenia z powodu wspomnianego w rozprawie (str.41) zainteresowania Zakładów Azotowych Chorzów SA rozwojem alternatywnych metod syntezy tej soli, w związku z koniecznością zmiany technologii syntezy.

Do najważniejszych osiągnięć Autorki rozprawy mogę zaliczyć:

- ✓ zbadanie w szerokim zakresie parametrów trzech procesów membranowych: dializy dyfuzyjnej, elektrodializy i elektrodializy z podwójną wymianą, co umożliwiło określenie wpływu kolejnych czynników na transport soli i wody przez badane membrany jonowymienne,
- ✓ wykazanie, że udział dyfuzyjnego strumienia soli w całkowitym strumieniu KNO_3 przez badane membrany jonowymienne może być ograniczony poprzez zastosowania większych gęstości prądu w procesie elektrodializy i dobór selektywnych membran – pozwala to na ograniczenie strat produktu w wyniku dyfuzji wstecznej,
- ✓ wykazanie, że w całkowitym strumieniu wody przez badane membrany jonowymienne dominuje strumień elektroosmotyczny (tj. strumień wody przenoszonej w otoczkach hydratacyjnych jonów w wyniku ich migracji w polu elektrycznym) – jego udział jest większy dla membran heterogenicznych (Ralex, Ionsep), niż dla homogenicznych (Neosepta, Selemion),
- ✓ określenie korelacji wybranych parametrów membran jonowymiennych i wskaźników syntezy KNO_3 , co pozwoliło m.in. na wykazanie silnie dodatniej korelacji stężenia grup jonowych (FIM) z końcowym stężeniem KNO_3 oraz silnie dodatniej korelacji zawartości

wody w membranie (W) i transportu wody, przy jednoczesnym braku korelacji pojemności jonowymiennej membrany (IEC) ze wskaźnikami syntezy,

- ✓ przeprowadzenie syntezy KNO_3 metodą ED-M w układzie trójstopniowym – otrzymano roztwór o wysokim stężeniu KNO_3 (ok. 3 mol/dm^3) i znikomej zawartości zanieczyszczeń (ok. 0,7% wag.), która pozwala zaklasyfikować produkt syntezy jako nawóz azotowo-potasowy.

Mojej bardzo wysokiej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej nie umniejszają poniższe uwagi, z których tylko dwie pierwsze mają charakter dyskusyjno – wyjaśniający, zaś pozostałe mają charakter uwag redakcyjnych. Są one następujące:

1. na str. 34 Autorka rozprawy pisze, że ...*w klasycznej elektrodializie koncentrat stanowi zwykle produkt uboczny, wymagający dalszego przerobu lub utylizacji*, podając 2 wyjątki: otrzymywanie soli kuchennej i przygotowanie solanek dla przemysłu chloro-alkalicznego. Jednak w literaturze znane są jeszcze inne przykłady wykorzystanie elektrodializy do wytwarzania wartościowych koncentratów, np. koncentraty soli metali ciężkich (szczególnie niklu) z wód z płukania po galwanizacji, koncentraty kwasów nieorganicznych z wód z płukania po trawieniu metali lub ze zużytych kąpiele potrawiennych.
2. w wielu miejscach rozprawy (m.in. na str. 23) Autorka używa określenia: *kwartet membran*, mając na myśli powtarzalną jednostkę w module membranowym do procesu ED-M. Określenie to budzi pewne wątpliwości, ponieważ w module z pojedynczym kwartetem membran, liczba membran jest równa 5 (jak pokazano na rys. 1.6.3C lub na rys. 3.3). Wydaje się, że określenia: *jednostka czterokomorowa* (lub *moduł membranowy czterokomorowy*) są korzystniejsze, w dodatku stosowane w publikacjach zagranicznych (określenia: *four-compartment electrodialysis*, *four compartments* były użyte przez Autorkę w pracy opublikowanej w *Separation and Purification Technology*, 2016).
3. na str. 56 podano, że minimalne stężenie soli w nadawie wynosiło $0,2 \text{ eq/dm}^3$, natomiast w tabeli 3.2 stężenie minimalne dla soli Ca i Mg wynosi $0,2 \text{ mol/dm}^3$ (czyli $0,4 \text{ eq/dm}^3$).
4. na str. 67-68 stężenia początkowe podawane są w dwóch rodzajach jednostek: eq/dm^3 i mol/dm^3 – czyni to ten fragment pracy mało czytelnym, szczególnie przy porównaniu stężeń początkowych badanych substratów i substratu K_2SO_4 .
5. na str. 83-84 powinno być: ...*zdolność membrany do wykluczania współjonów i do wymiany przeciwjonów*.
6. na str. 85 powinno być: *Stężenie molalne grup jonowych było z reguły większe w badanych membranach homogenicznych niż w membranach heterogenicznych...* - zgodnie z danymi w tabeli 4.7.

7. na str. 93 powinno być: *W oparciu o wyznaczone wartości J_w/J_s (rys.4.11)...* - ponieważ na rys. 4.11 przedstawiono stosunek strumienia molowego wody i soli.
8. na str. 97 powinno być: *...membrany homogeniczne charakteryzowały się większym transportem osmotycznym niż membrany heterogeniczne...* - zgodnie z danymi w tabeli 4.12.
9. na str. 98 powinno być: *Spadek napięcia na zaciskach elektrodializera (E_z)...*
10. na str. 113 w tabeli 4.19 podana wysoka zawartość Na^+ (33,55% - pierwszy wiersz tabeli) w produkcie ubocznym powinna dotyczyć zawartości NH_4^+ , ponieważ produktem ubocznym jest tu NH_4Cl ; także podana wysoka zawartość NH_4^+ (39,51% - drugi wiersz tabeli) – powinna dotyczyć zawartości Na^+ , ponieważ produktem ubocznym jest tu NaCl .
11. na str. 115, na rys. 4.16 – brak opisu dla punktów w najniższej części rysunku; z dalszego opisu (str. 116) wynika, że punkty te dotyczą KNO_3 .
12. na str. 136 powinno być: *...szybkość przenoszenia wody (...) wyraźnie maleje ze wzrostem stężenia soli w roztworze surowca...* - zgodnie z danymi na rys. 4.12.

Podsumowanie oceny rozprawy i wniosek o jej przyjęcie

Chciałbym podkreślić, że przedstawione powyżej uwagi, przy uwzględnieniu wielowątkowości pracy i bardzo dużej liczbie przeprowadzonych eksperymentów, są w istocie nieliczne, a ich waga jest niewielka. Doktorantka zrealizowała bardzo obszerny zakres prac badawczych, co pozwoliło na osiągnięcie celu pracy, jakim była ocena przydatności elektrodializy z podwójną wymianą do syntezy soli nieorganicznych na przykładzie azotanu (V) potasu. Przedstawiona w końcowej części pracy koncepcja sposobu prowadzenia syntezy KNO_3 metodą ED-M, przy uwzględnieniu czynników limitujących transport soli i wody w tym procesie, została następnie zweryfikowana w eksperymentach laboratoryjnych. Ich wyniki wykazały, że prowadzenie procesu w kaskadzie modułów do elektrodializy z podwójną wymianą umożliwia uzyskanie roztworu o wysokim stężeniu KNO_3 i znikomym zanieczyszczeniu, co pozwala zaklasyfikować produkt syntezy jako nawóz azotowo-potasowy o niskiej zawartości chlorków. Stanowi to niewątpliwie wartościowy element aplikacyjny recenzowanej rozprawy.

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Hanny Jaroszek pt.: *Otrzymywanie soli nieorganicznych metodą elektrodializy z podwójną wymianą na przykładzie azotanu (V) potasu* spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące ustawowe przepisy. Wnoszę

zatem o przyjęcie pracy przez Radę Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej i dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony.

Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej

Mgr inż. Hanna Jaroszek jest osobą, która posiada już wartościowy dorobek naukowy. Jest współautorką 17. publikacji, w tym 12. prac opublikowanych w czasopismach znajdujących się w bazie JCR. W tej ostatniej grupie znajdują się publikacje w czasopismach o wysokich wartościach IF (m.in. *Separation and Purification Technology*, *Hydrometallurgy*, *Desalination and Water Treatment*).

W grupie prac opublikowanych, 4 publikacje są związane tematycznie z pracą doktorską, w tym 2. prace zostały opublikowane w czasopismach z bazy JCR (sumaryczna wartość IF wynosi 4,386). W pracach związanych tematycznie z rozprawą, **Doktorantka występuje jako pierwszy autor**. Należy dodać, że mgr inż. Hanna Jaroszek jest również współautorką **1. patentu i 2. zgłoszeń patentowych**. Doktorantka prezentowała także swoje prace na licznych konferencjach w kraju i za granicą (4 referaty i 20 posterów).

Obok znaczącego dorobku naukowego, istotnym elementem wniosku o wyróżnienie rozprawy doktorskiej jest wartość tejże pracy. Szczegółową ocenę rozprawy przedstawiłem powyżej – w tym miejscu chciałbym jeszcze raz podkreślić wysoki poziom naukowy dysertacji, u podstaw którego znajdują się osiągnięcia naukowe przedstawione w ocenie merytorycznej pracy doktorskiej.

Mając na uwadze powyższe czynniki proszę Wysoką Radę Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej o wyróżnienia rozprawy doktorskiej mgr inż. Hanny Jaroszek.

