



**Politechnika
Krakowska**
Jubileusz 80-lecia

Wydział Inżynierii
i Technologii Chemicznej



dr hab. inż. Katarzyna Gorazda prof. PK

Kraków, 06.08.2025 r.

Katedra Technologii Chemicznej i Analityki Środowiskowej

Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej

Politechnika Krakowska

Ul. Warszawska 24

31-155 Kraków

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Adriany Jadwigi Wróbel-Kaszanek

**pt. „Opracowanie założeń technologicznych krystalizacji metawanadanu(V)
amonu z odpadów zawierających azotan(V) amonu”**

opracowana na zlecenie Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Wydziału Chemii
Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu



1. Ocena wyboru tematyki pracy

Rynek węgla sodu (Na_2CO_3), o rocznej wartości przekraczającej 160 mld USD, należy do najdynamiczniej rozwijających się segmentów globalnego przemysłu chemicznego. Związek ten znajduje szerokie zastosowanie m.in. w produkcji szkła, detergentów, żywności, opakowań oraz w sektorze fotowoltaiki. Jednocześnie jego wytwarzanie generuje istotne obciążenia środowiskowe, wymagające odpowiedzialnego podejścia technologicznego oraz regulacyjnego.

Procesy produkcji sody charakteryzują się wysoką energochłonnością i zasobochłonnością, co wiąże się ze znacznym zużyciem paliw kopalnych, emisją gazów cieplarnianych (głównie CO_2), generowaniem odpadów stałych oraz wtórnym zasoleniem gleb i wód. Z tego względu niezbędne jest wdrożenie efektywnych mechanizmów zarządzania środowiskowego, w tym technologii ograniczających negatywny wpływ na ekosystemy.

Wobec rosnącego zapotrzebowania na węgiel sodu, szczególnie w sektorach niecyklicznych i proekologicznych, konieczne staje się wdrażanie technologii zgodnych z zasadami zrównoważonego rozwoju. Kluczowe kierunki obejmują poprawę efektywności energetycznej, odzysk surowców oraz transformację energetyczną.

W Polsce produkcja sody koncentruje się w zakładach Qemetica Soda Polska S.A. (dawniej Ciech S.A.), będącej jednym z głównych dostawców w UE. Mimo silnej pozycji, sektor mierzy się z wyzwaniami wynikającymi z zaostrzających się regulacji środowiskowych i konkurencji spoza UE, co wymusza działania restrukturyzacyjne i innowacyjne.

Coraz większe znaczenie zyskują technologie bezodpadowe, które minimalizują emisje, umożliwiają odzysk surowców i zamykają obiegi technologiczne. Przekłada się to nie tylko na korzyści środowiskowe, ale i ekonomiczne – zwiększoną efektywność operacyjną, niższe koszty oraz większą odporność na zmienność cen i regulacji.

Przykładem innowacyjnego podejścia jest technologia SCS (Siarka–Chlor–Saletra), alternatywna wobec klasycznego procesu Solvaya. Umożliwia ona jednoczesne uzyskanie sodu kalcynowanego, czystego chloru i saletry mieszanej, przy ograniczeniu emisji i zużycia surowców. Analiza ługów pozostających po filtracji NaHCO_3 wskazuje na obecność jonów chlorkowych, które mogą katalizować egzotermiczny rozkład azotanu(V) amonu, stwarzając ryzyko wybuchu podczas zatężania, magazynowania lub transportu.

W celu minimalizacji tego zagrożenia Doktorantka w swojej rozprawie zaproponowała rozwiązanie polegające na konwersji azotanu(V) amonu do metawanadanu(V) amonu poprzez reakcję z metawanadanem(V) potasu. Głównym celem badań podjętych w pracy było

wyznaczenie najkorzystniejszych warunków procesu konwersji i krystalizacji powstałego na drodze reakcji podwójnej wymiany metawanadanu(V) amonu. W założeniach procesu, po filtracji, związek ten będzie kierowany do procesu kalcynacji, a powstały amoniak wykorzystany do wstępnej amonizacji solanki. Ług pozostały po procesie będzie natomiast zateżany do zyskania stałego produktu do zastosowań nawozowych.

Doktorantka wyznaczyła przebieg izoterm rozpuszczalności dla wybranych układów trójskładnikowych oraz uzupełniła brakujące dane w temperaturach 293,15K, 303,15K, 313,15K oraz 323,15K. Następnie wyznaczyła politermy rozpuszczalności w zakresie 293,15-323,15K w analizowanym układzie $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{VO}_3 + \text{KNO}_3 + \text{KVO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ w celu wyznaczenia maksymalnej wydajności konwersji azotanu(V) amonu do metawanadanu(V) amonu. Na tej podstawie przeprowadziła teoretyczne obliczenia bilansowe krystalizacji metawanadanu(V) amonu z ługu pofiltracyjnego powstającego w procesie SCS (Siarka–Chlor–Saletra) i opracowała założenia technologiczne.

Dobór temperatury doświadczalnej został dostosowany do warunków operacyjnych procesu technologicznego w metodzie SCS, w której ług po filtracji i dekarbonizacji charakteryzuje się temperaturą w przedziale 298,15–303,15 K. Uwzględnienie tego parametru zapewniło zgodność warunków laboratoryjnych z rzeczywistymi parametrami procesowymi i skuteczniejsze odwzorowanie zjawisk zachodzących w środowisku reakcyjnym.

Podjęta tematyka pracy stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oraz systematyczne uzupełnienie brakujących danych eksperymentalnych. Zastosowanie opracowanej koncepcji może stanowić efektywną metodę zwiększającą bezpieczeństwo operacyjne, ograniczającą niestabilność finalnego produktu jak również zapewniającą dalsze jego wykorzystanie nawozowe po operacjach oczyszczania.

2. Ogólna charakterystyka i struktura rozprawy

2.1. Część literaturowa

Przedstawiona do recenzji rozprawa zawarta została na 142 stronach i podzielona na piętnaście rozdziałów. W przeglądzie piśmiennictwa autorka wprowadza w zagadnienia realizowane w pracy badawczej **opierając się na 80 pozycjach literaturowych, w tym jednej współautorstwa Doktorantki, opublikowanych w większości na przełomie ostatnich 15 lat.** W tej części pracy scharakteryzowana została produkcja węgla sodu począwszy od metody Leblanca poprzez metodę Solvay'a aż po bezodpadowe metody produkcji. Opisano dokładnie przebieg procesów technologicznych, warunki ich prowadzenia i zachodzące w poszczególnych etapach reakcje. Autorka skupiła się również na problemie generowanych w procesach emisji gazowych, ciekłych i stałych oraz przeanalizowała kierunki badań nad udoskonaleniem i modyfikacją procesów produkcyjnych zmierzające do minimalizacji lub

całkowitej ich eliminacji. W dalszej części przeglądu literaturowego wskazano również działania producentów węgla sodu tj. Solvay czy Quemetica Soda Polska w kierunku ograniczenia znaczącego wpływu tej produkcji na środowisko. Po tej analizie autorka podjęła się przeglądu metod bezodpadowych produkcji węgla sodu charakteryzując metodę Dual, Raudi, MSP, CODA, zintegrowaną produkcję szkła, czy metodę SCS.

Autorka wskazała, że w koncepcji metody SCS (Soda-chlor-saletra), ług po filtracji NaHCO_3 miał być zatężony w celu krystalizacji saletry amonowo-sodowej, stanowiącej produkt nawozowy. Obecność w ługu ok. 1,4% wagowych chlorku sodu wpływa katalizująco na rozkład saletry amonowej w węźle procesu zatężania i krystalizacji, co może doprowadzić do niekontrolowanego wybuchu i znacznego zagrożenia w instalacjach technologicznych. **Doktorantka potwierdziła potrzebę poszukiwania innej metody utylizacji ługu pofiltracyjnego w metodzie SCS, wskazując jednocześnie obszar badawczy realizowanej pracy.**

2.2. Cel zakres pracy i metodyka badawcza

W rozdziale 6 w syntetyczny sposób zdefiniowano cel pracy, którym było określenie najlepszych warunków strącania metawanadanu(V) amonu w reakcji podwójnej wymiany między metawanadanem(V) potasu a azotanem(V) amonu, stanowiącym główny składnik ługu pofiltracyjnego z metody SCS produkcji sody.

W początkowej fazie założono analizy izoterm rozpuszczalności dla układów trójskładnikowych: $\text{NH}_4\text{VO}_3 + \text{KVO}_3 + \text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{VO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ oraz uzupełnienia danych dla układów $\text{KNO}_3 + \text{KVO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ i $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ w czterech temperaturach. Zakres temperatur dobrano zgodnie z warunkami procesu SCS, w którym ług osiąga temperaturę 298,15–303,15 K.

Kolejnym krokiem było opracowanie politermy rozpuszczalności układu $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{VO}_3 + \text{KNO}_3 + \text{KVO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ w zakresie 293,15–323,15 K, co pozwoliło na wyznaczenie punktów potrójnych, granic współkrystalizacji oraz maksymalnej wydajności konwersji w wybranej temperaturze.

Zebrane dane miały posłużyć do wykonania teoretycznych obliczeń bilansowych utylizacji ługu pofiltracyjnego w metodzie SCS, wyboru najkorzystniejszych warunków tego procesu i zaproponowania koncepcji technologicznej.

Opis metodyki badawczej i stosowanych materiałów oraz aparatury zawarto w części doświadczalnej pracy w rozdziale 7 i 8. W tej części umieszczono również informacje o zastosowanych metodach analitycznych i instrumentalnych (rozdział 9). Metodyka została prawidłowo dobrana do zakresu realizowanych prac i analiz. Doktorantka posługiwała się

zróżnicowanymi metodami analitycznymi tj. metody wagowe, miareczkowe, analiza spektrofotometryczna, destylacja z parą wodną, F-AAS, analiza XRD czy analiza termiczna w celu wyznaczenia składu roztworów równowagowych jak również potwierdzenia składu jakościowego uzyskiwanych osadów.

2.3. Wyniki badań, dyskusja i wnioski

Wyniki badań oraz ich dyskusję zawarto na 47 stronach pracy w rozdziale 10 i poparto 7 tabelami oraz zobrazowano na 25 wykresach.

W pierwszej części wyznaczono eksperymentalnie rozpuszczalności metawanadanu(V) potasu oraz azotanu(V) potasu w układzie trójskładnikowym $KVO_3 + KNO_3 + H_2O$. Wyznaczony doświadczalnie czas ustalenia się równowagi fazowej w badanym układzie wynosił 30h. Na podstawie uzyskanych danych wykreślono politermy rozpuszczalności w zakresie temperatury 293,15-323,15K oraz izotermy rozpuszczalności dla roztworów nasyconych. Wskazano punkty eutoniczne, w których skład fazy stałej znajdującej się w równowadze z fazą ciekłą, potwierdzono analizą XRD. Wyznaczone dane pozwoliły na potwierdzenie silnego efektu wysalającego azotanu(V) potasu na KVO_3 . Na podstawie hiperbolicznego przebiegu gałęzi II, wskazano na zmniejszenie rozpuszczalności metawanadanu(V) potasu i niekorzystne zjawisko spowolnienia kinetyki reakcji konwersji azotanu(V) potasu do KVO_3 . Wzrost temperatury wpływał korzystnie na zwiększenie stężenia azotanu(V) potasu w punktach eutonicznych. Doktorantka wykluczyła tworzenie się dodatkowych faz stałych (hydraty czy sole złożone) poprzez analizę zależności gęstości roztworów równowagowych od ułamka molowego metawanadanu(V) potasu oraz analizy XRD.

Analogiczną procedurę zastosowano do wyznaczenia rozpuszczalności soli w układzie $NH_4NO_3 + KNO_3 + H_2O$ w zakresie temperatury 293,15-323,15K. W tym przypadku wyznaczony doświadczalnie czas ustalenia się równowagi fazowej w 298,15K wynosił 24h. Doktorantka wyznaczyła również parametry równania kinetycznego. Na podstawie uzyskanych danych wykreśliła izotermy rozpuszczalności i część politermy rozpuszczalności w zakresie temperatury 293,15-323,15K. Odnotowano różnice w przebiegu izoterm w różnych temperaturach. W temp. 293,15K izotermy posiadały trzy gałęzie gdzie faza ciekła pozostaje odpowiednio w równowadze z azotanem(V) amonu, azotanem(V) potasu oraz solą podwójną $K_{0,33}(NH_4)_{0,66}NO_3$. W przypadku wyższych temperatur obserwowane były dwie gałęzie izoterm gdzie fazą stałą pozostającą w równowadze był odpowiednio azotan(V) amonu i azotan(V) potasu. Zaobserwowano występowanie efektu wysalającego KNO_3 na NH_4NO_3 w gałęzi I izoterm oraz wysalający wpływ NH_4NO_3 na rozpuszczalność KNO_3 w gałęzi II.

Doktorantka wnioskowoła, że prostoliniowy charakter gałęzi II niekorzystnie wpływa na kinetykę reakcji konwersji azotanu(V) amonu do metawanadanu(V) amonu gdyż rosnące stężenie azotanu(V) potasu, zmniejszając rozpuszczalność azotanu(V) amonu, spowalnia kinetykę reakcji. Doktorantka ustaliła również, że rosnąca temperatura wpływa na wzrost stężenia azotanu(V) potasu oraz azotanu(V) amonu w roztworach eutonicznych.

W przypadku układu pięcioskładnikowego par soli wymiennych $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KVO}_3 + \text{NH}_4\text{VO}_3 + \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ do konstrukcji wykresu w rzucie ukośnym na płaszczyznę według Jänecke'go posłużono się danymi dla przebiegu izoterm rozpuszczalności układów trójskładnikowych o wspólnym jonie, na których podstawie wyznaczono punkty eutoniczne. Wyznaczony czas ustalenia się równowagi fazowej w 298,15K był najdłuższy i wynosił 200h.

Dane eksperymentalne dla tego układu zaprezentowano w 4 tabelach określając gęstości roztworów równowagowych, stężenia jonów amonu, potasu, metawanadanowych(V), azotanowych(V), jak również skład fazy stałej dla poszczególnych roztworów. Na podstawie wartości ułamków molowych jonów potasowych i metawanadanych(V) wykreślono izotermy rozpuszczalności układu w zakresie temperatur 293,15-323,15K. Zachowanie układu zobrazowano na 6 wykresach i szczegółowo go przeanalizowano. Doktorantka wykazała, że w zależności od analizowanej temperatury zmienia się ilość gałęzi rozgraniczających płaszczyzny krystalizacji poszczególnych soli. Na izotermach w zakresie temperatury 303,15-323,15K wyróżniono pięć gałęzi natomiast dla temperatury 293,15K - siedem.

Ustalono, że największe pole krystalizacji odpowiadało NH_4VO_3 a tym samym charakteryzował się on najniższą rozpuszczalnością spośród wszystkich soli występujących w analizowanym układzie. Związek ten wraz z KNO_3 tworzył parę soli trwałych w badanym układzie soli wymiennych, ze względu na występowanie wspólnej granicy pól krystalizacji tych soli.

W tej części pracy Doktorantka określiła maksymalne wartości wydajności reakcji konwersji azotanu(V) amonu do metawanadanu(V) amonu, które wynosiły 97,53%, 97,97%, 98,69%, 99,03% odpowiednio dla temperatury 293,15K, 303,15K, 313,15K, 323,15K.

Dopełnieniem pracy jest zaproponowanie założeń krystalizacji metawanadanu(V) amonu z roztworów odpadowych zawierających azotan(V) amonu powstających w metodzie SCS (soda-chlor-saletra) produkcji sody. Rozważania teoretyczne prowadzono w odniesieniu do 1 Mg ługu powstającego po odfiltrowaniu wodorowęglanu sodu, zawierającego 561 kg azotanu(V) amonu (78.5% w s.m.), który po procesie dekarbonizacji poddawany jest procesowi konwersji azotanu(V) amonu do metawanadanu(V) amonu. Przy założeniach maksymalnych wartości wydajności procesu konwersji, wyznaczonych we wcześniejszych częściach pracy oraz danych literaturowych Doktorantka przeprowadziła obliczenia teoretyczne i sporządziła bilans materiałowy procesów zagospodarowania odpadowego ługu pofiltracyjnego z analizowanej metody produkcji sody.

Na tej podstawie wykazano, że po procesie zatężania ługu po konwersji azotanu(V) amonu do metawanadanu(V) amonu prowadzonego w zakresie temperatur 293,15- 323,15K można uzyskać produkt zawierający w suchej masie 81,6-84,3% KNO_3 , 12,3-12,4% NaNO_3 oraz 1,7% NaCl . Wraz ze wzrostem temperatury procesu odnotowano spadek zawartości KVO_3 z 2,8% do 1,1% oraz NH_4NO_3 z 1,7% do 0,6%.

Doktorantka ustaliła, że najkorzystniejsze warunki do prowadzenia procesu konwersji z wysoką wydajnością (99,03%) i najmniejszą ilością zanieczyszczeń w końcowym produkcie (1,1% KVO_3) odpowiadają temperaturze 323,15K. W tych warunkach odnotowano najmniejsze straty tlenu vanadu(V) do syntezy KNO_3 (6kg na 1 Mg ługu). W zaproponowanych warunkach nie udało się całkowicie wyeliminować zanieczyszczeń produktu. Obecność metawanadanu(V) potasu w produkcie końcowym uniemożliwia jego zastosowanie nawozowe ze względu na jego działanie toksyczne na rośliny prowadzące do zahamowania wzrostu, stresu oksydacyjnego czy uszkodzenia komórek i nekrozy liści. Doktorantka zaproponowała dalsze etapy oczyszczania tj. krystalizacja frakcyjna czy wytrącanie z nadmiarem azotanu(V) amonu.

Z całości przeprowadzonych badań Doktorantka wyciągnęła prawidłowe wnioski zawarte w rozdziale 11 pracy.

3. Pytania i uwagi dyskusyjne

Podczas analizy rozprawy doktorskiej przedstawionej do recenzji nasunęły się poniższe pytania i uwagi, które mają charakter otwartej dyskusji i nie obniżają mojej bardzo pozytywnej oceny pracy, mogą jednak pomóc w jej zrozumieniu i odbiorze:

1. Proszę o wyjaśnienie przesłanek do wyboru metawanadanu(V) potasu w prowadzonym procesie konwersji azotanu(V) amonu.
2. Proszę o wykazanie jakich danych doświadczalnych brakowało dla układów $\text{KNO}_3 + \text{KVO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ oraz $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ z powołaniem na źródła literaturowe.
3. Proszę o wyjaśnienie w jakim celu do oznaczeń K metodą FAAS dodaje się sodu.
4. Proszę o podanie dokładności stosowanych metod analitycznych oraz komentarz dotyczący zapisu wyników analitycznych i obliczeniowych w tabelach z dokładnością do 4 a nawet 5 cyfry znaczących.
5. Na stronie 81 wskazano na znaczące różnice w wartościach rozpuszczalności azotanu(V) amonu uzyskane przez poszczególnych autorów, co Doktorantka tłumaczy zmianą temperatury podczas procesu pobierania roztworu oraz sposobem pobierania próbek. Proszę o wskazanie jakie były różnice w procedurze pobierania próbek roztworów przez Doktorantkę i cytowanych w tabeli 6 innych autorów.

6. Na stronie 22 Doktorantka pisze „Kolejny projekt zakłada stworzenie magazynu energii sprężonego powietrza (Compressed Air Energy Storage – CAES) w Niemczech w kawernach solnych mogących pomieścić setki GWh przez długi czas” – proszę o wyjaśnienie powstawania i zastosowania kawern solnych oraz informacje czy faktycznie magazynuje się w nich bezpośrednio energię.

Uwagi:

- Ustawa o odpadach z 2001 roku na którą powołuje się Doktorantka na str.19 została uchylona aktem z dnia 14 grudnia 2012 r. (Dz.U. 2013 poz. 21). Najnowsza zmiana tej ustawy została wprowadzona 01.01.2025 (Dz.U. 2024 poz. 1914).
- Na rysunku 36 na schemacie zawarto zapis w °C, natomiast w całej dysertacji występuje zapis w K.
- Na str. 37 użyto skrótu MEA a na rys.12 skrótu MEA_MEG nie wyjaśniając co to za związki.
- Zwroty „kolumna pęcherzykowa”, „wieża bąbelkowa” dotyczą kolumny barbotażowej i ta ostatnia nawa powinny być używana w inżynierii chemicznej.
- Na stronie 19 w zdaniach: „Według strategii trwałego i zrównoważonego rozwoju przyjętej w Polsce, jednym z elementów prawidłowego rozwoju gospodarczego jest obowiązek ochrony środowiska naturalnego. Strategia Unii Europejskiej dotycząca zapobiegania powstawaniu odpadów przemysłowych zawarta jest w dyrektywie IPPC (ang. Integrated Pollution Prevention and Control)” nie wskazano źródła literaturowego, które powinno umożliwić czytelnikowi odnalezienie wskazanych dokumentów. Podobna sytuacja znajduje się na stronie 25.
- Czy urządzenie na rys.21 na str.62 jest mineralizatorem?
- Rysunek 6 na str.25 jest niezrozumiały w mojej ocenie.
- Na Rys. 9 Doktorantka używa słowa „centryfugowanie” zamiast wirowanie czy rozdział faz.

W pracy występują drobne potknięcia edytorskie tj.:

- Na stronie 34 w reakcji 25 zapisano związek $2\text{NH}_4\text{SO}_4$ zamiast NaHSO_4
- „Rozpuszczalność metawanadanu(V) potasu w roztworach eutonicznych natomiast pozostaje praktycznie stała” zamiast stała.
- „Krzywa P1-P2 oddziela pola krystalizacji należących do stabilnej..” – zamiast należące.

4. Ocena końcowa

Rozprawa mgr Adriany Jadwigi Wróbel-Kaszanek przedstawiona do recenzji została przygotowana w sposób bardzo przemyślany i zorganizowana w logicznym ciągu badawczym. Przeprowadzona analiza literatury, oparta na aktualnych i uznanych źródłach, stanowi wyczerpujące wprowadzenie do zagadnień podejmowanych w pracy. Jednocześnie potwierdza ona innowacyjny charakter podjętej tematyki oraz wskazuje na istotne znaczenie uzyskanych rezultatów w kontekście rozwoju bezodpadowych technologii produkcji sody, które odpowiadają na współczesne potrzeby rynku.

W mojej opinii cel pracy został osiągnięty, określono najlepsze warunki krystalizacji metawanadanu(V) amonu w reakcji podwójnej wymiany między metawanadanem(V) potasu a azotanem(V) amonu i zaproponowano założenia technologiczne przeprowadzenia tego procesu z roztworów odpadowych powstających w metodzie SCS (soda-chlor-saletra) produkcji sody. Technologia zapewnia zagospodarowanie wszystkich strumieni procesowych.

W pracy przedstawionej do recenzji Doktorantka rozwiązała oryginalny problem naukowy opracowując izotermę rozpuszczalności dla układów trójskładnikowych a następnie politermy rozpuszczalności układu $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{VO}_3 + \text{KNO}_3 + \text{KVO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ w zakresie 293,15–323,15 K, które pozwoliły na wyznaczenie maksymalnej wydajności konwersji azotanu(V) amonu do metawanadanu(V) potasu i opracowanie założeń technologicznych procesu zagospodarowania ługów z metody SCS. Wyniki badań stanowią punkt wyjścia do dalszych prac badawczo-rozwojowych na roztworach rzeczywistych.

Sposób analizy literatury, wykorzystana metodyka analityczna i badawcza oraz systematyczny i uporządkowany tok badawczy potwierdza, że mgr Adriana Jadwiga Wróbel-Kaszanek posiada wiedzę teoretyczną charakterystyczną dla reprezentowanej dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych oraz przygotowanie do samodzielnego planowania badań i prowadzenia pracy eksperymentalnej. Doktorantka płynnie wykorzystywała różne techniki badawcze do osiągnięcia celów zawartych w pracy, wykazała się umiejętnością syntetycznej prezentacji wyników, ich dyskusji i interpretacji oraz wyciągania prawidłowych wniosków, co potwierdza kompetencje autorki w zakresie prowadzenia badań naukowych.

Dysertacja wnosi istotny wkład w zakresie poznawczym i użytkowym w zagadnienia rozpuszczalności w układach $\text{NH}_4\text{VO}_3 + \text{KVO}_3 + \text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{VO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ oraz $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{VO}_3 + \text{KNO}_3 + \text{KVO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ w zakresie temperatur 293,15–323,15 K nieopisywanych dotychczas w literaturze. Dodatkowo uzupełnia dane dla układów $\text{KNO}_3 + \text{KVO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ i $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Ponadto uzyskane wyniki znajdują zastosowanie praktyczne w postaci określenia założeń technologicznych prowadzenia procesu waloryzacji ługu odpadowego z metody SCS produkcji sody.



Praca została przygotowana w bardzo dobrym, czytelnym układzie i dopracowana pod kątem edytorskim.

Uwzględniając powyższą ocenę, uważam, że rozprawa mgr Adriany Jadwigi Wróbel-Kaszanek zatytułowana: „Opracowanie założeń technologicznych krystalizacji metawanadanu(V) amonu z odpadów zawierających azotan(V) amonu”, spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim w Ustawie z dnia 3 lipca 2018 r. - Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1669) z późniejszymi zmianami. Wnoszę o przyjęcie niniejszej rozprawy i dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów postępowania i publicznej obrony.

Ponadto, biorąc pod uwagę jakość merytoryczną i poznawczą pracy oraz jej wysoki poziom, wnoszę o wyróżnienie rozprawy.

dr hab. inż. Katarzyna Gorazda prof. PK