



dr hab. inż. Dorota Warmińska, prof. PG

ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233, Gdańsk

telefon: +48 58 347 14 10

e-mail: dorwarmi@pg.edu.pl

Gdańsk, dnia 03.09.2025r

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Skoniecznego pt. „Otrzymywanie i charakterystyka nowej generacji płynów roboczych w technologii chłodnictwa absorpcyjnego”

Podstawą wykonania recenzji było pismo Pana prof. dr hab. inż. Wojciecha Wróblewskiego, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Warszawskiej z dnia 02 lipca 2025r.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Otrzymywanie i charakterystyka nowej generacji płynów roboczych w technologii chłodnictwa absorpcyjnego”, opracowana przez mgr inż. Michała Skoniecznego z Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Marta Królikowska, prof. uczelni.

Dysertacja została przedstawiona w formie cyklu siedmiu spójnych tematycznie publikacji naukowych, poprzedzonych autoreferatem, który obejmuje również komentarz do danych zaprezentowanych w postaci materiałów uzupełniających, opublikowanych po powstaniu pracy. Wszystkie artykuły zostały wydrukowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, znajdujących się na liście *Journal Citation Reports*, a ich sumaryczny współczynnik oddziaływania (*Impact Factor*), bez uwzględnienia ostatnio powstałej publikacji, wynosi 20,7. W większości artykułów doktorant jest pierwszym autorem i jednocześnie autorem korespondencyjnym. Jego znaczący wkład w powstałe publikacje potwierdzają oświadczenia współautorów. Z dokumentów tych wynika, że doktorant brał udział w pracach koncepcyjnych, prowadził pomiary i analizował wyniki, pisał manuskrypty i

przygotowywał odpowiedzi na recenzje. W rozprawie doktorskiej uwzględniony został również pozostały dorobek naukowy doktoranta, obejmujący sześć dodatkowych publikacji naukowych oraz siedem wystąpień konferencyjnych, których tematyka pozostaje ściśle związana z zagadnieniami podejmowanymi w dysertacji. Do cyklu publikacji należałoby doliczyć także ósmą pracę opublikowaną w bieżącym roku. Doktorant był beneficjentem dwóch projektów badawczych finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Politechnikę Warszawską.

Układ pracy doktorskiej mgr inż. Michała Skoniecznego jest prawidłowy i zgodny z przyjętym stylem rozpraw przygotowywanych w formie cyklu publikacji. Dysertacja liczy 236 stron i rozpoczyna się streszczeniami w języku polskim i angielskim, po których następuje autoreferat zawierający wprowadzenie, opis zastosowanej metody badawczej i sformułowaną hipotezę, listę publikacji stanowiących podstawę rozprawy, przewodnik po publikacjach, komentarz do materiałów uzupełniających oraz podsumowanie. W dalszej części pracy doktorant umieścił kopie publikacji, materiały uzupełniające, wykaz dorobku naukowego, bibliografię, zestawienie symboli i skrótów, spisy rysunków, tabel i wykresów oraz oświadczenia współautorów. W mojej ocenie struktura dysertacji została opracowana starannie i z dużą dbałością o przejrzystość, co w znacznym stopniu ułatwia odbiór treści i pozwala na pełne zrozumienie kontekstu badań. Całość stanowi spójne i przemyślane opracowanie, które w pełni spełnia standardy edytorskie i merytoryczne tego typu prac. Na wyróżnienie zasługuje solidne przygotowanie materiałów uzupełniających, które wraz z komentarzem stanowiły gotowy materiał publikacyjny, w pełni wykorzystany przez doktoranta do opublikowania danych w *Fluid Phase Equilibria* (M. Skonieczny, M. Królikowska, K. Paduszyński, M. Więckowski, Thermodynamic properties and coefficient of performance calculations of {Choline thiocyanate, dicyanamide, tricyanomethanide + ethanol} systems for absorption refrigeration technology applications, *Fluid Phase Equilib.* 2026, 600, 114548).

Wprowadzenie doktorant rozpoczyna syntetycznym przeglądem ewolucji chłodnictwa, podkreślając kluczowe przełomy technologiczne. Zwraca uwagę na problemy związane z toksycznością dawniej stosowanych czynników chłodniczych oraz wskazuje współczesne, bardziej ekologiczne rozwiązania w chłodnictwie sprężarkowym, a także kontynuowane wykorzystanie wodnych roztworów bromku litu i amoniaku w chłodnictwie absorpcyjnym.

Dalej szczegółowo przedstawia konstrukcję i zasadę działania chłodziarek absorpcyjnych. Trafnie akcentuje ich zalety, a jednocześnie obiektywnie wskazuje główną wadę – niższy współczynnik wydajności chłodniczej (COP) w porównaniu z chłodziarkami sprężarkowymi. Dokonuje analizy kierunków poprawy ich efektywności poprzez modyfikacje konstrukcyjne, uwzględniając przy tym aspekty technologiczne i ekonomiczne takich rozwiązań.

Doktorant przedstawia różnorodne zastosowania chłodziarek absorpcyjnych, a zamieszczone przez niego przykłady praktycznych wdrożeń oraz odniesienia do badań i literatury wskazują na szeroką perspektywę i znajomość tematu. W sposób klarowny i dobrze zorganizowany omawia wady i zalety dwóch kluczowych par roboczych stosowanych w chłodnictwie absorpcyjnym — układów bromek litu + woda oraz woda + amoniak, co pozwala zrozumieć specyfikę każdego rozwiązania oraz ich potencjalne zastosowania. Autor ponownie podkreśla, że oba układy, zarówno wodny roztwór LiBr jak i wodny roztwór amoniaku, charakteryzują się niższym współczynnikiem wydajności chłodniczej w porównaniu do chłodziarek sprężarkowych, co jest istotną barierą w ich powszechnym wdrożeniu. Faktem tym uzasadnia potrzebę dalszych badań i poszukiwań nowych, bardziej efektywnych i bezpiecznych par roboczych. Wymienia szereg zaproponowanych do tej pory układów, w tym systemy zawierające ciecze jonowe (ILs). Podkreśla przy tym zarówno zalety cieczy jonowych, jak i ich podstawowe ograniczenie, czyli wysoki koszt, wskazując jednak, że może on zostać zrównoważony w skali całej instalacji chłodniczej.

Dalej autor płynnie przechodzi do sformułowania celu własnych badań, którym jest opracowanie nowych par roboczych opartych na etanolu oraz cieczach jonowych z anionami fosforanowymi i anionami zawierającymi grupy nitrylowe. Rzeczowo uzasadnia wybór składników badanych układów. Podjęcie badań obejmujących zarówno analizę wpływu struktury cieczy jonowych na właściwości termodynamiczne, jak i ocenę potencjału aplikacyjnego wytypowanych układów świadczy o dojrzałym i rzetelnym podejściu naukowym doktoranta. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że cele pracy zostały sformułowane na podstawie szczegółowego, logicznie uporządkowanego i merytorycznie bogatego przeglądu literaturowego, opartego na 110 starannie dobranych pozycjach, co dowodzi dogłębnej znajomości problematyki oraz świadomości technicznych ograniczeń obecnie stosowanych układów chłodniczych. Pewnym mankamentem podrozdziału 1.5 części teoretycznej jest natomiast podawanie wartości COP w różnych miejscach pracy, bez ich

tabelarycznego zestawienia, co utrudnia szybkie porównanie wyników, a także miejscami zbyt wyliczeniowy styl narracji, przez co kluczowe wnioski nie wybrzmiewają dostatecznie jasno.

W ostatnim podrozdziale wprowadzenia doktorant przedstawia odwracalny absorpcyjny obieg chłodniczy w ujęciu termodynamicznym, opierając się na wykresie T-S oraz bilansie energii. Układ opisuje jako kaskadę dwóch obiegów Carnota, definiuje współczynnik cyrkulacji (f) oraz wyprowadza równanie na współczynnik wydajności chłodniczej odwracalnego urządzenia absorpcyjnego (COP) oparte na entalpiach w poszczególnych punktach obiegu. Dodatkowo omawia równanie stanu Redlicha-Kwonga i sposób wyznaczenia jego parametrów dla mieszanin ciecz jonowa + etanol. W bardzo skrótowy sposób wyjaśnia metodę obliczania entalpii poprzez przejście przez stan gazu doskonałego i zastosowanie poprawek resztkowych, podając temperatury pracy kluczowych elementów układu. Prezentowane wzory są poprawne, za wyjątkiem równania (8), które w rzeczywistości definiuje współczynnik wydajności chłodniczej odwracalnego urządzenia absorpcyjnego, a nie współczynnik wydajności chłodniczej obiegu chłodniczego. Generalnie, w celu zwiększenia przejrzystości lepiej byłoby, aby symbole używane w równaniach były jednoznacznie zdefiniowane bezpośrednio przy ich zapisie, a nie w treści bieżącego, a nawet innych podrozdziałów. Element dotyczący wyznaczenia entalpii za pomocą równania Redlicha-Kwonga wymagałby szerszego omówienia. Prosiłabym, aby w trakcie obrony doktorant przedstawił szczegółowe zależności i procedurę obliczeniową w tym zakresie, tak aby uzupełnić skrótowo potraktowany fragment, pominięty również w publikacjach P4 i P5.

W rozdziale drugim autoreferatu, zatytułowanym „Metoda naukowa, hipoteza badawcza” doktorant opisuje w sposób uporządkowany i wyczerpujący przebieg procesu badawczego w ujęciu klasycznej metody naukowej, adaptowanej do specyfiki badań nad nowymi parami roboczymi dla chłodziarek absorpcyjnych. Autor jasno wskazuje kolejne etapy — od obserwacji, poprzez formułowanie pytań i hipotezy badawczej, aż po weryfikację oraz publikację wyników — nadając swojej pracy solidne podstawy metodologiczne. W szczególności pozytywnie należy ocenić odniesienie do kryteriów falsyfikacji Karla Poppera, co świadczy o świadomej i krytycznej postawie badawczej doktoranta oraz to, że w swojej pracy badawczej doktorant przeprowadza analizę wyników zarówno w ujęciu redukcjonistycznym (porównania wartości poszczególnych wielkości fizycznych i

termodynamicznych), jak i w kontekście holistycznym, obejmującym całościową ocenę przydatności układów w chłodnictwie absorpcyjnym. Rozdział doktorant kończy przedstawieniem głównych celów poszczególnych publikacji, a także skrótowym opisem treści materiałów uzupełniających i podsumowaniem. Dalej podaje dane bibliograficzne poszczególnych publikacji (Rozdział 3), żeby przejść do kolejnego rozdziału (Rozdział 4), który jest przewodnikiem po tychże publikacjach.

Cykl publikacji, uzupełniony o dane zamieszczone w materiałach dodatkowych, obejmuje szeroko zakrojone i kompleksowe badania nad właściwościami fizykochemicznymi oraz termodynamicznymi wybranych cieczy jonowych i ich roztworów etanolowych, prowadzonych w kontekście ich potencjalnego zastosowania jako pary robocze w chłodziarkach absorpcyjnych. W publikacjach P1-P5 oraz w komentarzu do materiałów uzupełniających (Rozdział 5) doktorant przedstawia charakterystykę termodynamiczną i fizykochemiczną szeregu układów ciecz jonowa + etanol, a uzyskane wielkości wiąże ze strukturą badanych cieczy jonowych. Praca P6 poświęcona jest wynikom nadmiarowej entalpii mieszania cieczy jonowych opartych o aniony dimetylo- i dietylofosforanowe z etanolem, a publikacja P7 dotyczy badań korozyjnych dla tych ILs wobec miedzi i aluminium. Komentarz do materiałów uzupełniających zawiera również opis wyników korozji stali niestopowej St2K50 oraz stali nierdzewnej X5CrNi18-10 wobec szeregu cieczy jonowych, w tym takich, dla których autor wyznaczył wcześniej parametry korozyjne wobec metali nieżelaznych. W publikacjach P4-P5 oraz materiałach uzupełniających doktorant przedstawia i analizuje wartości współczynników cyrkulacji i współczynników wydajności chłodniczej badanych układów. Każda z publikacji, włączając w to komentarz do materiałów uzupełniających, zawiera najważniejsze wnioski z przeprowadzonych pomiarów w odniesieniu do potencjonalnego zastosowania badanych układów w chłodnictwie absorpcyjnym, a właściwy dobór cieczy jonowych i metod eksperymentalnych świadczy o dobrze przemyślanym i konsekwentnie realizowanym projekcie badawczym.

Publikacje P1-P2 dotyczą badań etanolowych roztworów dietylofosforanowych cieczy jonowych zawierających trzy kationy heterocykliczne (pirolidyniowy, piperidyniowy, morfoliniowy) oraz jeden alifatyczny (tetraalkiloammoniumowy). Publikacja P3 prezentuje wyniki dla roztworów dietylofosforanów opartych o kation morfoliniowy i pirolidyniowy oraz dodatkowy imidazoliowy i ma na celu ukazanie wpływu budowy anionu cieczy jonowej

na uzyskiwane wielkości. Publikacja P4 zawiera dane eksperymentalne dla etanolowych roztworów dimetylofosforanów z dwoma kationami imidazoliowymi oraz jednym pirydyniowym i stanowi podsumowanie porównawcze serii dimetylofosforanowych cieczy jonowych. Publikacja P5 poświęcona jest charakterystyce termodynamicznej i fizykochemicznej etanolowych roztworów tricyjanometanów zawierających wcześniej już analizowane kationy (imidazoliowe, pirolidyniowy i morfoliniowy). Materiały uzupełniające wraz z komentarzem zawierają wyniki oraz ich opis dla układów zawierających etanol i cieczy jonowe oparte na cholinie i anionach zawierających grupy nitrylowe.

Przedstawione w publikacjach P1-P7 oraz w materiałach uzupełniających badania wzajemnie się uzupełniają i obejmują: syntezę i oczyszczanie dziesięciu spośród siedemnastu badanych cieczy jonowych, potwierdzenie ich struktury za pomocą spektroskopii NMR, wyznaczenie charakterystyk termofizycznych metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej, pomiary gęstości i lepkości zarówno czystych ILs, jak i ich roztworów w szerokim zakresie temperatur oraz badania korozyjne. Szczególnie istotnym elementem, z punktu widzenia potencjalnych zastosowań w chłodnictwie absorpcyjnym, były pomiary równowagi fazowej ciecz–para (VLE), których wyniki doktorant wykorzystał do oszacowania współczynnika cyrkulacji i współczynnika wydajności chłodniczej, a także wykonane dla większości badanych układów pomiary kalorymetryczne. W mojej ocenie zastosowane metody badawcze zostały dobrane właściwie i umożliwiły realizację przyjętych celów pracy. Na podkreślenie zasługuje także konsekwentne uwzględnianie niepewności pomiarowych oraz dbałość o staranne osuszanie badanych cieczy jonowych i kontrolę zawartości wody, co świadczy o dużej rzetelności i świadomości naukowej autora.

Analiza eksperymentalnych wartości prężności pary, gęstości i lepkości, wraz z dostępnymi danymi literaturowymi, pozwoliła doktorantowi określić wpływ elementów strukturalnych kationów (obecności grupy hydroksylowej, ilości atomów węgla i tlenu w pierścieniu, długości łańcucha alkilowego w podstawniku) oraz długości łańcucha alkilowego anionów cieczy jonowych na właściwości fizykochemiczne układów. Wykazał on, że obecność grupy hydroksylowej czy atomu tlenu w kationie IL działa niekorzystnie, zwiększając lepkość, gęstość oraz prężność pary. Z kolei wydłużenie łańcucha alkilowego bądź zmiana pięcioczłonowego pierścienia pirolidyniowego na sześcioczłonowy piperydyniowy wywiera niewielki wpływ na prężność pary, ale prowadzi do zmniejszenia

gęstości i wzrostu lepkości. Wzrost długości łańcucha alkilowego w anionie fosforanowej cieczy jonowej powoduje obniżenie wartości gęstości, lepkości oraz prężności pary badanych układów, przy czym pozostają one nadal wyższe niż w przypadku ILs z anionami zawierającymi grupy nitrylowe. Należy zaznaczyć, że ze względu na wysoką temperaturę topnienia cieczy jonowych opartych na anionach tiocyjanianowym i tricyjanometankowym, doktorant mógł wyznaczyć zależności gęstości i lepkości roztworów etanolowych jedynie w ograniczonym zakresie składów. Uzupełnił jednak charakterystykę tych układów, opracowując diagramy fazowe ciecz-ciało stałe.

Uzyskane przez doktoranta wartości współczynników aktywności etanolu, mniejsze od jedności dla roztworów zawierających cieczy jonowe oparte na anionach fosforanowych, wskazały na ujemne odchylenia od doskonałości i silne oddziaływania pomiędzy cząsteczkami cieczy jonowej i etanolu, co jest pożądane w przypadku par roboczych stosowanych w chłodnictwie absorpcyjnym. Potwierdziły to ujemne wartości nadmiarowych objętości molowych i nadmiarowych entalpii molowych mieszania (publikacje P1-P3 oraz publikacja P6), nadmiarowych entalpii swobodnych (publikacja P1) oraz odchyień lepkości (publikacja P3), obliczone dla wybranych układów. Z kolei wartości współczynników aktywności etanolu dla roztworów cieczy jonowych opartych na anionie tricyjanometankowym (publikacja P5), tiocyjanianowym i dicyjanoamidkowym (Materiały Uzupełniające) wskazały na zachowanie bliskie mieszaninie doskonałej. Uzyskane termogramy potwierdziły trwałość termiczną wszystkich badanych cieczy jonowych w pożądanym zakresie temperatur.

Analizując obliczone wartości współczynników cyrkulacji i współczynników wydajności chłodniczej dla badanych układów oraz dla takich, dla których znane były literaturowe dane równowagowe ciecz-para (publikacje P4-P5 oraz Materiały Uzupełniające wraz z komentarzem), doktorant wykazał, że spośród badanych dimetylofosforanowych cieczy jonowych najkorzystniejsze wartości f i COP mają układy z kationami pirydyniowym i amoniowym, przewyższając pod względem efektywności chłodzenia nawet konwencjonalną parę roboczą LiBr + woda. Ponadto stwierdził, że efektywności chłodzenia (wzrostowi COP i spadku f) sprzyja wprowadzenie atomu tlenu do pierścienia kationu cieczy jonowej, natomiast wprowadzenie grupy hydroksylowej w podstawniku alkilowym kationu ma działanie niekorzystne. Doktorant przeanalizował wpływ rodzaju anionu IL na efektywność

chłodzenia i wskazał, że układy zawierające ciecze jonowe oparte na anionie dietylofosforanowym charakteryzują się większymi wartościami COP i f niż analogiczne roztwory ILs opartych na anionie dimetylofosforanowym. Jako najmniej przydatne w zastosowaniach absorpcyjnych wytypował, pomimo ich korzystnych właściwości transportowych, etanolowe roztwory tricyjanometanowych cieczy jonowych. Biorąc pod uwagę dane zawarte w materiałach uzupełniających dla tricyjanometanku choline, dla którego uzyskał zdecydowanie wyższe wartości COP, słusznie zaznaczył jednak, że do sformułowania ostatecznych wniosków konieczne byłoby zbadanie wpływu rodzaju kationu cieczy jonowej.

Na podstawie badań korozyjnych względem miedzi i aluminium, przeprowadzonych dla cieczy jonowych opartych o aniony fosforanowe (publikacja P7), dla których wcześniej wykonał pomiary fizykochemiczne, doktorant stwierdził, że w przypadku miedzi wszystkie badane ciecze jonowe tworzą pasywną warstwę, przy czym dla większości z nich warstwa ochronna jest stabilna w wysokim zakresie potencjałów. Najwolniejszy przebieg korozji miedzi autor odnotował w dimetylofosforanie zawierającym kation tetraalkiloamoniowy. W przypadku aluminium również obserwował tworzenie warstw ochronnych, jednak ich stabilność była silniej uzależniona od rodzaju cieczy jonowej. Najmniejszą ochronę powierzchni aluminium zapewnia dietylofosforan oparty o kation tetraalkilofosfoniowy. Z kolei z badań przeprowadzonych dla stali niestopowej St2K50 oraz stali nierdzewnej X5CrNi18-10 wynika, że intensywność procesów korozyjnych stali wywołanych przez ciecze jonowe zależy przede wszystkim od rodzaju anionu cieczy jonowej. Struktura kationu cieczy jonowej odgrywa w tym przypadku zdecydowanie mniejszą rolę. Doktorant wykazał, że ciecze jonowe zawierające anion octanowy, etylosiarczanowy i tricyjanometanowy w znacznie większym stopniu korodują powierzchnię stali w porównaniu z ILs opartymi na anionach dimetylo- czy dietylofosforanowych. Niemniej jednak stwierdził, że wszystkie badane ciecze jonowe charakteryzowała mniejsza korozyjność w stosunku do powszechnie stosowanego układu LiBr+woda. Zaznaczył też, że aby dokonać końcowej oceny należałoby wykonać pomiary korozyjne dla mieszanin cieczy jonowych z etanolem.

W podsumowaniu wyników (Rozdział 6) doktorant w sposób syntetyczny przedstawił kolejne etapy przeprowadzonych badań. W formie wykresów słupkowych zestawiał zmierzone wartości gęstości i lepkości dla badanych układów oraz układu LiBr + woda (o zawartości soli 0,2 w skali ułamka molowego). Analogicznego porównania dokonał dla współczynników

cyrkulacji i współczynników wydajności chłodniczej. W tym przypadku zestawienie danych poszerzył o dodatkowe układy, dla których dostępne były literaturowe dane równowagi ciecz-para oraz dane dla układu amoniak-woda. Uzyskane wykresy wykorzystał do weryfikacji hipotezy badawczej. Doktorant wykazał przy tym umiejętność łączenia analizy redukcjonistycznej z podejściem holistycznym, uwzględniającym końcową ocenę przydatności badanych układów w technologii chłodnictwa absorpcyjnego. Ostatecznie stwierdził, że w świetle uzyskanych wyników dla etanolowych roztworów dimetylofosforanu N,N,N -trietylo- N -metyloamoniowego postawiona w pracy hipoteza badawcza została potwierdzona. Autoreferat zakończył wskazaniem kierunków dalszych badań, obejmujących m.in. testy na rzeczywistej jednostce absorpcyjnej, zarówno z jednym efektem cieplnym, jak i przy zastosowaniu bardziej zaawansowanych konfiguracji z wielostopniowym odzyskiem ciepła.

W trakcie lektury dysertacji Pana mgr inż. Michała Skoniecznego, zauważyłam nieznaczłą ilość drobnych potknięć, na przykład w publikacji P1 w kilku miejscach pojawia się „woda” zamiast „etanol”, a w autoreferacie „bis(trifluorometylosulfonylo)imid” zamiast „bis(trifluorometylosulfonylo)imidek”. Zwróciłam uwagę też na kilka nieścisłości oraz nasunęło mi się parę pytań. Najbardziej istotne z nich przedstawiam poniżej.

1. Doktorant używał wielu równań korelujących wielkości fizyczne i termodynamiczne ze składem czy temperaturą roztworów, przy czym na parametr będący miarą dopasowania modelu stosował zamiennie dwóch terminów, tj. odchylenia standardowa (σ) i pierwiastka ze średniego błędu kwadratowego (RMSE). Odchylenie standardowe opisuje rozrzut wartości wokół średniej i nie stanowi miary jakości dopasowania modelu. W tym kontekście poprawnym terminem jest wyłącznie RMSE. Wątpliwość budzi też duża ilość cyfr znaczących podawana w wartościach tego parametru. Ogólnie przyjęte jest podawanie wartości RMSE co najwyżej z dwoma cyframi znaczącymi, a na przykład w Tabeli S2 publikacji P3 jest ich aż sześć.

2. Parametr α_{ij} (non-randomness parameter) w równaniu NRTL zazwyczaj nie jest bezpośrednio optymalizowany, lecz przyjmowany z zakresu wartości zaproponowanego przez autorów modelu. Należałoby w pracach wyraźnie zaznaczyć, które parametry były faktycznie estymowane w procesie dopasowania, a które ustalane a priori. Jakie narzędzia i procedury obliczeniowe były wykorzystywane do optymalizacji danych?

3. V^E to nadmiarowa objętość molowa (excess molar volume), wyrażana w $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, a nie nadmiarowa objętość mieszania, która miałaby jednostkę cm^3 . Jakimi przesłankami kierował się doktorant, wybierając do optymalizacji nadmiarowych objętości molowych trzyparametrowe równanie Redlicha-Kistera? Na podstawie zamieszczonych w publikacjach rysunków widać, że uzyskane równania nie opisują danych V^E w sposób satysfakcjonujący. Słabe dopasowanie potwierdzają wartości RMSE, które są o rząd wielkości większe niż niepewności nadmiarowej objętości molowej. W pracy P3 doktorant tłumaczy to dużą niepewnością gęstości, podawaną w nieoczekiwany sposób zaledwie z trzema miejscami po przecinku, jednak w mojej opinii nie jest to główna przyczyna słabego dopasowania. Jakie inne czynniki mogły przyczynić się do tego efektu?

4. Czy przy szacowaniu niepewności ułamka molowego cieczy jonowej uwzględniono jej czystość? W jaki sposób mogłoby to wpłynąć na niepewność wielkości nadmiarowych?

Powyższe uwagi, mające głównie charakter dyskusyjny, nie wpływają na moją bardzo wysoką ocenę rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Skoniecznego. Pracę należy uznać za oryginalną, o wysokiej wartości merytorycznej i metodycznej, przygotowaną na bardzo dobrym poziomie edytorskim i językowym. Cykl publikacji stanowiący podstawę rozprawy oceniam równie pozytywnie.

Podjęcie problematyki poszukiwania nowych par roboczych w chłodnictwie absorpcyjnym jest niezmiernie istotne w dobie rosnącego zapotrzebowania na technologie energooszczędne oraz konieczności ograniczania negatywnego wpływu przemysłu na środowisko naturalne. Tematyka ta doskonale wpisuje się w aktualne kierunki badań prowadzonych w wielu ośrodkach naukowych na świecie, a zaproponowane przez doktoranta mieszaniny cieczy jonowych z etanolem stanowią oryginalny wkład do stanu wiedzy w tej dziedzinie.

Uznanie budzi szeroko zakrojony zakres przeprowadzonych badań, obejmujących zarówno analizę wpływu struktury cieczy jonowych na właściwości termodynamiczne, jak i ocenę potencjału aplikacyjnego wytypowanych układów. Doktorant wykazał się przy tym głęboką wiedzą oraz dobrym zrozumieniem badanego tematu, umiejętnością formułowania celów pracy oraz wyborem odpowiednich narzędzi badawczych. Świadczy to o jego wysokich kompetencjach naukowo-badawczych i stanowi dowód solidnego przygotowania merytorycznego do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Podjęty kierunek badań jest bardzo istotny nie tylko z naukowego, ale również, co ważne, z praktycznego punktu widzenia. Wyniki badań dostarczają wartościowych danych eksperymentalnych oraz wniosków o charakterze aplikacyjnym, które mogą znaleźć zastosowanie przy projektowaniu nowych układów w chłodnictwie absorpcyjnym. Na podkreślenie zasługuje również znaczący dorobek publikacyjny doktoranta, osiągnięty na tak wczesnym etapie kariery naukowej.

W związku z powyższym uważam, że przedstawiona mi do oceny praca w pełni spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w artykule 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023 poz.742 z późniejszymi zm.) i stanowi podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora w dyscyplinie nauki chemiczne. Wnoszę więc o dopuszczenie Pana Michała Skoniecznego do publicznej obrony. Jednocześnie składam wniosek o wyróżnienie niniejszej rozprawy doktorskiej.

Bonita Wamun'ska