



dr hab. inż. Agnieszka Świdorska-Mocek
WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
Zakład Chemii Fizycznej
ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań
tel.: tel. +48 61 665 2304, fax +48 61 647 5868
e-mail: agnieszka.swiderska-mocek@put.poznan.pl
www.fct.put.poznan.pl

RECENZJA
rozprawy doktorskiej

Pana Michała Skoniecznego

pt.

*“Otrzymywanie i charakterystyka nowej generacji płynów roboczych w technologii
chłodnictwa absorpcyjnego”*

Przedłożona do oceny dysertacja została wykonana przez Pana mgr. inż. Michała Skoniecznego na Wydziale Chemii Politechniki Warszawskiej, pod kierunkiem Dr hab. inż. Marty Królikowskiej, profesora uczelni.

Zainteresowanie technologią chłodnictwa absorpcyjnego związane jest ze wzrastającą potrzebą poszukiwania alternatywy wobec technologii pochłaniających znaczne ilości energii elektrycznej (chłodnictwo sprężarkowe), coraz częstszym stosowaniem odnawialnych źródeł energii (OZE) w różnego rodzaju gałęziach przemysłu, czy też użytecznym wykorzystywaniem ciepła emitowanego do środowiska jako odpad. W technologii chłodnictwa absorpcyjnego stosuje się pary robocze, składające się z układu: absorbent - absorbat w roli czynnika chłodniczego. Stosowanie konwencjonalnych (znanych od ponad 100 lat) par roboczych (woda-amoniak i bromek litu-woda) wiąże się z istotnymi problemami, stąd potrzeba znalezienia alternatywnych rozwiązań. W celach osiągnięcia wyższych wartości współczynnika wydajności chłodniczej (ang. Coefficient of Performance, COP) i wyeliminowania wad konwencjonalnych układów stosuje się dwie strategie: modyfikację

istniejących już par roboczych oraz znalezienie nowych o poprawionych parametrach. Praca Doktoranta wpisuje się w aktualny kierunek badań związanych z poszukiwaniem nowych, alternatywnych par roboczych.

Pan mgr inż. Michał Skonieczny podjął się wytypowania nowych układów, w których ciecz jonowa (ang. Ionic Liquid, IL) pełniłaby funkcję absorbenta dla etanolu jako czynnika chłodniczego. Głównym celem badań była charakterystyka termodynamiczna i fizykochemiczna par (ciecz jonowa - etanol), która miała na celu określenie wpływu elementów struktury cieczy jonowych na mierzone wielkości oraz wartości COP. Dodatkowo dla kilku etanolowych roztworów cieczy jonowych (tych wykazujących wysokie wartości współczynnika wydajności chłodniczej) przedstawiono wyniki nadmiarowej entalpii mieszania oraz dla wybranych cieczy jonowych (zawierających aniony dimetylo- i dietylofosforanowe) podjęto próbę zbadania ich korozyjności wobec miedzi i aluminium - materiałów elementów konstrukcyjnych chłodziarek absorpcyjnych.

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Michała Skoniecznego liczy 235 stron. Układ pracy jest charakterystyczny dla rozpraw opartych na cyklu spójnych tematycznie publikacji. Pracę rozpoczyna streszczenie w języku polskim i angielskim, następnie jest spis treści i wprowadzenie liczące 22 strony, w którym przybliżono poruszane w rozprawie doktorskiej zagadnienia wraz z aktualnym stanem wiedzy i kierunkami badań dotyczącymi tematyki pracy. Na kolejnych stronach zdefiniowano proces metody naukowej i postawiono hipotezę badawczą. Następnie po liście publikacji będących podstawą rozprawy zamieszczono dość syntetyczny przewodnik po publikacjach liczący 13 stron oraz komentarz do materiałów uzupełniających. Całość zakończono podsumowaniem. W dalszej części rozprawy umieszczono kopie publikacji (117 strony), materiały uzupełniające, dorobek naukowy Autora, bibliografie, wykaz symboli i skrótów oraz spis rysunków i tabel. Ostatnie strony dysertacji to oświadczenia współautorów. Praca przygotowana jest starannie, napisana poprawnym językiem naukowym. Praca oparta jest na 110 pozycjach literaturowych, z których znaczna część została opublikowana w okresie ostatnich dziesięciu lat, co świadczy o aktualności podjętej przez Doktoranta tematyki badawczej.

Artykuły składające się na spójny tematycznie zbiór prac będących podstawą rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Michała Skoniecznego zostały opublikowane w latach 2021-2025 w czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym. Wszystkie prace znajdują się w czasopismach indeksowanych w bazach *Scopus* i *Journal Citation Reports* o sumarycznym współczynniku oddziaływania (Impact Factor; IF) wynoszącym 20,7. Są to prace opublikowane w następujących czasopismach: jedna w *Fluid Phase Equilibria* (**P1**) (2021, 547, 113175)

i w *Molecules* (**P2**) (2023, 28(4),1940), trzy w *Journal of Chemical & Engineering Data* (**P3-P5**) (2022, 67, 869-885, 2023, 68, 3377-3397 oraz 2025, 70, 1363-1377) i kolejne w *Journal of Chemical Thermodynamics* (**P6**) (2023, 187, 107144) oraz *Electrochimica Acta* (**P7**) (2024, 500, 1-12).

Są to prace wieloautorskie: trzy z nich to prace liczące 3 autorów, dwie - czterech, natomiast prace **P3 i P6** są pracami tylko dwuautorskimi - Doktoranta i Pani Promotor dr hab. inż. Marty Królikowskiej, profesora PW. Należy podkreślić, że Pan mgr inż. Michał Skonieczny jest autorem korespondencyjnym i pierwszym aż w czterech pracach, co wskazuje jednoznacznie na Jego dominujący udział w przygotowaniu niniejszych opracowań, wypracowaniu koncepcji oraz realizacji zaplanowanych badań. Z załączonych oświadczeń wynika, że Pan mgr inż. Michał Skonieczny w przeważającym stopniu samodzielnie prowadził prace badawcze oraz dokonywał analizy i interpretacji wyników pod opieką merytoryczną i przy wsparciu Pani Promotor dr hab. inż. Marty Królikowskiej, profesora PW. Opublikowanie prac badawczych Doktoranta w wymienionych czasopismach świadczy o ich znaczeniu i wysokiej jakości oraz o aktualności realizowanej tematyki.

Ocena merytoryczna pracy

Autor we wstępie rozprawy doktorskiej (w rozdziale „Wprowadzenie”) przedstawił i wyjaśnił podstawowe zagadnienia dotyczące technologii chłodnictwa absorpcyjnego z szerokim, ale interesującym opisem początków rozwoju chłodnictwa. W dalszej części nastąpiło porównanie chłodziarek sprężarkowych z absorpcyjnymi, przedstawienie możliwości zastosowań tych ostatnich oraz scharakteryzowanie dwóch powszechnie stosowanych na skalę przemysłową par roboczych. W kolejnym podrozdziale Doktorant przedstawił dwie strategie poprawy właściwości układów roboczych obejmujące: modyfikacje już istniejących przez dodatek innej substancji oraz znalezienie nowych, alternatywnych par. Tutaj Autor skupił się głównie na nowych parach roboczych przytaczając wiele przykładów literaturowych, które wskazują na duże zainteresowanie cieczami jonowymi w roli absorbentów. Oprócz definicji i charakterystyki ogólnej cieczy jonowych Doktorant podał przekonujące powody na zaproponowanie etanolu jako czynnika obiegowego, czego konsekwencją było wytypowanie układu: ciecz jonowa – etanol jako potencjalnej i poszukiwanej pary roboczej. Podrozdział 1.6. („Współczynnik wydajności chłodniczej”) Autor poświęcił matematycznemu opisowi wyznaczania współczynnika wydajności chłodniczej oraz współczynnika cyrkulacji na podstawie dopasowania do eksperymentalnych danych VLE (równowag fazowych para – ciecz) przy użyciu nieliniowej metody najmniejszych kwadratów Levenberga – Marquarta, wykorzystując kod napisany za pomocą programu MATLAB. W tym miejscu należy dodać, że

kod został napisany przez dr. hab. inż. Kamila Paduszyńskiego, prof. Uczelni (współautora w publikacjach **P3** i **P4**). W mojej ocenie cały rozdział zawiera wyczerpujące informacje (poparte 110 pozycjami literaturowymi) służące wprowadzeniu w tematykę rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Michała Skoniecznego.

W Rozdziale "Metoda badawcza, hipoteza badawcza" Doktorant jasno sformułował główne cele i hipotezy pracy z podziałem zadań na poszczególne publikacje. Dodatkowo zostały szczegółowo wymienione wszystkie eksperymenty jakim poddane były badane układy. Na uwagę zasługuje fakt, że w tym rozdziale również Autor „pokusił się” o zdefiniowanie procesu metody naukowej.

Kolejny rozdział to „Przewodnik po publikacjach”, gdzie Doktorant opisał z kolei w sposób syntetyczny wyniki prac badawczych, które korelują z wynikami opublikowanymi w przedłożonych publikacjach (**P1-P7**).

Głównym celem badań opisanych w publikacjach (**P1 – P5**) była charakterystyka termodynamiczna i fizykochemiczna układów (ciecz jonowa - etanol), która miała pozwolić na określenie wpływu elementów struktury cieczy jonowych na mierzone wielkości oraz wartości współczynnika wydajności chłodniczej.

W pracy **P1** przedstawiono wyniki eksperymentalne charakterystyki fizykochemicznej i termodynamicznej dwóch cieczy jonowych: dimetylofosforanu 1-etylo-1-metylopyrolidyniowego, $[C_1C_2PYR][DMP]$ oraz dimetylofosforanu 1-hydroksyetylo-1-metylopyrolidyniowego, $[C_1C_2OHPYR][DMP]$ w układzie z alkoholem etylowym. Głównym celem podejmowanej pracy było określenie wpływu obecności grupy hydroksylowej w kationie cieczy jonowej na wzajemne oddziaływania i badane wielkości. Wyniki pomiarów równowag fazowych (para – ciecz) (VLE), które przeprowadzono w trzech temperaturach $T = (328,15; 338,15; 348,15)$ K pozwoliły na określenie wartości ciśnienia i składu oraz obliczenie wartości współczynników aktywności, które wskazują na ujemne odchylenia od doskonałości opisanej równaniem Raoult'a w każdym z analizowanych układów. Ten efekt jest korzystny z punktu widzenia procesu zachodzącego w absorberze (wydajność procesu absorpcji). Z kolei obecność grupy hydroksylowej zwiększa prężność pary w układzie w stosunku do etanolowego roztworu $[C_1C_2PYR][DMP]$, co jest niekorzystne dla jego zastosowania. Pogłębienie charakterystyki fizykochemicznej wybranych układów dotyczyło również wyznaczenia gęstości i lepkości dynamicznej w funkcji temperatury. Wraz ze wzrostem temperatury zaobserwowano zmniejszenie wartości zarówno gęstości jak i lepkości, jednak obecność grupy hydroksylowej w kationie pyrolidyniowym IL powoduje znaczny wzrost tych wartości w porównaniu z kationem zawierającym tylko grupy alkilowe. Na koniec Autor porównuje uzyskane wyniki

(gęstości i lepkości dynamicznej) dla dwóch badanych układów z tymi dla komercyjnej pary roboczej (LiBr – woda). Wykresy zależności gęstości i lepkości od ułamka molowego IL w etanolu przedstawiają wyniki dla pełnego zakresu stosunku molowego IL:etanol. Oczywiście znacznie węższy zakres widnieje dla wodnego roztworu LiBr, a wynika to z rozpuszczalności tej soli w wodzie. Jak wiadomo komercyjnie stosuje się około 57% roztwór LiBr w wodzie i czy w tym wypadku można zadeklarować konkretne stężenie czy stosunek molowy IL w etanolu, które mogłoby sprawdzić się w systemach chłodniczych?

W kolejnej pracy **P2** poddano analizie wpływ struktury kationu cieczy jonowej na wzajemne jej oddziaływanie z etanolem. Przedmiotem badań były (podobnie jak w pracy **P1**) dimetylofosforanowe cieczy jonowe tym razem z heterocyklicznymi kationami: dimetylofosforan 4-etylo-4 metylomorfoliniowy, $[C_1C_2MOR][DMP]$, dimetylofosforan 1-etylo-1-metylopiperydyniowy, $[C_1C_2PIP][DMP]$, jak również alifatycznym: dimetylofosforan N-N-N-trietylo-N-metylo amoniowy, $[N_{1,2,2,2}][DMP]$ oraz ich etanolowe roztwory. W tym wypadku dwie cieczy jonowe ($[C_1C_2MOR][DMP]$ i $[N_{1,2,2,2}][DMP]$) były syntezowane przez Autora. Została przedstawiona procedura ich syntezy i oczyszczania z końcowym potwierdzeniem struktury (technik 1H NMR oraz ^{13}C NMR) i charakterystyki termofizycznej z użyciem różnicowego kalorymetru skaningowego. W tym jak i kolejnych przypadkach (publikacje **P3**, **P4**, **P5**, **P6** i **P7**) zsyntezowane cieczy jonowe wykazywały dużą zawartość wody (metoda Karla Fischera). Na tyle wysoką, że za przyczynę rozbieżności przy porównaniu wyników z danymi literaturowymi Autorzy podawali właśnie mało efektywne oczyszczanie tych związków. Na przyszłość warto byłoby zaproponować inne, wydajniejsze metody oczyszczania syntezowanych cieczy.

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz porównawczych wykazano wpływ budowy kationu na prężność par, gęstość czy lepkość dynamiczną. Stwierdzono, że w przypadku morfoliniowych cieczy jonowych obecność atomu tlenu w strukturze kationu IL sprzyja występowaniu silniejszych oddziaływań ciecz jonowa – ciecz jonowa w porównaniu z oddziaływaniami międzycząsteczkowymi ciecz jonowa – etanol, a co za tym idzie bardziej dodatnich odchyśleń od doskonałości względem piperydyniowej cieczy jonowej, niezawierającej atomu tlenu w rdzeniu kationu. Z danych eksperymentalnych gęstości obliczono nadmiarowe objętości mieszania (V^E), które skorelowano równaniem Redlicha-Kistera. Wyniki te wskazują, że poniżej ułamka molowego cieczy jonowej, $x_1 = 0,5$ wartości V^E rosną w następującym szeregu: $[C_1C_2MOR][DMP] < [C_1C_2PIP][DMP] < [N_{1,2,2,2}][DMP]$, natomiast dla ułamka molowego IL powyżej 0,5 obserwuje się wzrost V^E w następującej kolejności: $[C_1C_2PIP][DMP] < [N_{1,2,2,2}][DMP] < [C_1C_2MOR][DMP]$. Przy wyborze pary

roboczej istotne są: ujemne odchylenie od p. Raoult'a, niska prężność par wynikająca z wysokiej zdolności absorpcyjnej absorbenta, niska gęstość i lepkość dynamiczna, które mają związek z płynnością ośrodka i przenoszeniem masy. W związku z tym moje pytanie: czy i jak informacje o zależności nadmiarowej objętości mieszania od składu roztworu może Autor wykorzystać przy wyborze optymalnego składu pary roboczej?

Publikacja **P3** układem bardzo zbliżona do dwóch wcześniejszych dotyczy badań nad etanolowymi roztworami cieczy jonowych, tym razem z anionem dietylofosforanowym ($[C_1C_2MOR][DEP]$, $[C_1C_2PYR][DEP]$ i $[C_1C_2IM][DEP]$). Oprócz charakterystyki fizykochemiczne i termodynamiczne badanych roztworów porównano uzyskane wyniki z układami zawierającymi cieczy jonowe z anionem $[DMP]$. Na podstawie danych eksperymentalnych VLE stwierdzono, że wszystkie układy: ciecz jonowa z anionem $[DEP]$ - etanol mają niższą prężność pary w takim samym składzie i temperaturze względem odpowiedników z anionem $[DMP]$. Pozwala to na stwierdzenie, że przy wyborze odpowiedniej cieczy wchodzącej w skład pary roboczej korzystniejsze byłoby zastosowanie cieczy jonowych zawierających anion o dłuższym łańcuchu alifatycznym.

W kolejnej publikacji **P4**, oprócz analizy wpływu długości łańcucha alifatycznego w kationie cieczy jonowej ($[C_1C_1IM][DMP]$ i $[C_1C_2IM][DMP]$) oraz analizy wpływu budowy rdzenia kationu (kation imidazoliowy i pirydyniowy) na wyznaczone wielkości, podjęto próbę wyznaczenia teoretycznego współczynnika wydajności chłodniczej (COP) i współczynnika cyrkulacji f dla szeregu układów. Współczynniki te obliczono wykorzystując izotermiczne dane VLE i parametry ich korelacji, przy zastosowaniu równania stanu Redlicha-Kwonga. Obliczenia prowadzono zarówno dla układów z tej publikacji, par roboczych analizowanych w publikacjach **P1-P3**, jak również dla zgromadzonej bazy danych literaturowych dotyczących pomiarów równowag fazowych (ciecz – para) etanolowych roztworów innych cieczy jonowych. Przykładowo, wyznaczone wartości współczynnika cyrkulacji dla dimetylofosforanowych cieczy jonowych pozwalają na uszeregowanie tych związków ze względu na wartość współczynnika w następującej kolejności: $[N_{1,2,2,2}][DMP] = [C_1Py][DMP]$ ($f = 3,6$) $< [C_1C_2PYR][DMP]$ ($f = 4,3$) $\sim [C_1C_2IM][DMP]$ ($f = 4,4$) $< [C_1C_1IM][DMP]$ ($f = 6,9$) $< [C_1C_2OHPYR][DMP]$ ($f = 9,6$) $\sim [C_1C_2MOR][DMP]$ ($f = 9,7$) $< [C_1C_2PIP][DMP]$ ($f = 14,4$). Należy dla porównania dodać, że dla układu konwencjonalnego (bromek litu – woda) wartość f wynosi 4,1, a dla układu (amoniak – woda), $f = 2,54$ oraz, że dla wzrostu wydajności chłodzenia pożądana jest jak najniższa wartość tego współczynnika. Uzyskane i zgromadzone dane stanowią bardzo cenny zbiór informacji dla poszukiwania optymalnych układów

absorbent – absorbat, a zebranie przez Autorów bardzo bogatej bazy danych umożliwiającej znalezienie różnego rodzaju korelacji zasługuje na duże uznanie.

W pracy **P5** poddano analizie układy z cieczą jonową zawierającą anion tricyjanometankowy [TCM]. Wybór związków ($[C_1C_2IM][TCM]$ - etanol, $[C_1C_2PYR][TCM]$ - etanol, $[C_1C_2MOR][TCM]$ - etanol) poprzedzony został szeregiem niepublikowanych badań, których wyniki Autor przedstawił w „Materiałach Uzupełniających” tej dysertacji, a spowodowany był najwyższymi uzyskanymi wartościami współczynnika COP dla przebadanych etanolowych roztworów. Podsumowując wyniki tej pracy Autor stwierdza, że pomimo korzystnych właściwości transportowych (niska gęstości i lepkość dynamiczna), wysokie współczynniki cyrkulacji i niskie wartości współczynników wydajności chłodniczej sprawiają, że układy te nie nadają się do zastosowania w technologii chłodnictwa absorpcyjnego. W tym miejscu należy podkreślić, iż warto publikować „niekorzystne” wyniki, ponieważ one stanowią cenne źródło informacji dla innych naukowców, m. in. pozwalają już na wstępie odrzucić wiele założeń i nie podejmować działań, o których wiadomo, że nie przyniosą pozytywnych rezultatów.

Podsumowując prace **P1-P5** jeszcze raz chciałabym skłonić Autora do próby wytypowania obok składu jakościowego (IL zawierająca konkretny anion i kation) wynikającego z wyznaczonych parametrów fizykochemicznych i termodynamicznych, również składu ilościowego etanolowych roztworów cieczy jonowej, które można byłoby z powodzeniem wykorzystać w technologii chłodnictwa absorpcyjnego.

Mam jeszcze uwagę co do kolejności prezentowanych prac. Taka a nie inna kolejność publikacji powodowała często sytuację, w której wyjaśnienie znaczenia dla procesu chłodzenia badanej wielkości pojawiało się później niż omawianie wartości tego parametru i jego korelacja.

Publikacja **P6** została w całości poświęcona wyznaczeniu nadmiarowych entalpii mieszania dla siedmiu układów (ciecz jonowa - etanol): $[C_1C_2PIP][DMP]$, $[C_1C_2PYR][DMP]$, $[N_{1,2,2,2}][DMP]$, $[C_1C_2OHPYR][DMP]$, $[C_1C_2MOR][DEP]$, $[C_1C_2PYR][DEP]$ oraz $[C_1C_2IM][DEP]$. Biorąc pod uwagę proces zachodzący w absorberze, korzystne byłoby otrzymanie ujemnych wartości nadmiarowej entalpii mieszania, a co za tym idzie egzotermicznego procesu mieszania ($H^E < 0$). Wszystkie badane układy wykazywały ujemne wartości nadmiarowej entalpii mieszania w całym zakresie składu. Zauważono, że zwiększenie alifatycznego charakteru rdzenia kationu z pyrrolidyniowego do piperydyniowego czy wydłużenie łańcucha alifatycznego w anionie powoduje zwiększenie wartości nadmiarowej entalpii mieszania (wartości mniej ujemne).

W publikacji **P7** Autor przedstawił badania korozyjności serii dimetylo- i dietylofosforanowych cieczy jonowych. Badano wpływ obecności tych związków na proces korozji miedzi i aluminium, pierwiastków z których są zbudowane elementy konstrukcyjne chłodziarek absorpcyjnych. Z praktycznego punktu widzenia jest to bardzo istotny problem, a więc bardzo dobrze, że został poruszony przez Doktoranta. Porównanie otrzymanych wyników z badaniami dla wodnych roztworów chlorku sodu i bromku litu pokazuje (co było do przewidzenia), że proces korozji miedzi i aluminium zachodzi w znacznie mniejszym stopniu w cieczach jonowych niż w wodnych roztworach soli alkalicznych. Szkoda, że badaniu nie poddano etanolowych roztworów cieczy jonowych. Z jakiego powodu nie zdecydowano się na roztwory etanolowe? Czy wszystkie ciecze jonowe były ciekłe w temperaturze pomiaru tj. 25 °C? Na podstawie danych z Tabeli 3 można wnioskować, że przynajmniej jedna z IL (dla kilku w ogóle nie została podana T_m), a mianowicie $[C_1Py][DMP]$ ma temperaturę topnienia wyższą od 25 °C.

Podsumowując prace badawcze przedstawione w rozprawie doktorskiej Pana mgr. inż. Michała Skoniecznego pragnę podkreślić, że zostały one zaplanowane racjonalnie, a poszczególne cele konsekwentnie zrealizowane. Na uznanie zasługuje ogrom wykonanych prac doświadczalnych oraz doskonały warsztat eksperymentalny i matematyczny Doktoranta. Z perspektywy nowości naukowej, szereg przeprowadzonych badań pozwoliło na wyznaczenie, często po raz pierwszy, wielu parametrów, które umożliwiają pogłębioną charakterystykę wybranych cieczy jonowych i ich etanolowych roztworów oraz poszerzenie bazy danych na ich temat.

Do obowiązków recenzenta należy również ocena edytorska czyli odnalezienie w pracy niedokładności, błędnych sformułowań oraz błędów literowych. Praca została zredagowana starannie i poza na prawdę nielicznymi drobnymi błędami edytorskimi, które nie wpływają na odbiór pracy, nie zauważyłam większych uchybień.

Ale o tych które zauważyłam, chciałabym wspomnieć:

- strona 20, rozdział „Wprowadzenie” pojawia się sformułowanie: „...co stwarza szerokie okoliczności skłaniające do poszukiwania skuteczniejszych alternatyw lub modyfikacji istniejących par roboczych”. Brzmi ono dziwnie albo co najmniej niezrozumiale.

- strona 20, podrozdział „Nowe pary robocze” we fragmencie zdania czytamy: „...osiągnięcia wyższych współczynników chłodniczych...” Sformułowanie to sugeruje, że istnieje wiele współczynników chłodniczych, a zapewne Autorowi chodziło o wyższe wartości jednego, zdefiniowanego współczynnika chłodniczego.

- strona 35, podrozdział „Metoda naukowa, hipoteza badawcza” pojawia się błąd w opisie składu pary roboczej. Jest: {ciecz etanol + etanol} , a powinno być {ciecz jonowa + etanol}
- strona 50, rozdział „Przewodnik po publikacjach” pojawia się sformułowanie: „...od -0,4 V w porównaniu z Ag/Ag^+ do 0,4 V w porównaniu z Ag/Ag^+ ...”. Potencjały mierzone są względem elektrody odniesienia, w tym wypadku jest to elektroda srebrowa Ag/Ag^+ , a więc ten fragment powinien raczej brzmieć: od -0,4 V do 0,4 V względem Ag/Ag^+ .

Wszystkie powyższe uwagi czy stawiane pytania w żadnym stopniu nie umniejszają wysokiego poziomu merytorycznego dysertacji, a jedynie mają stanowić przyczynek do dyskusji.

Pan mgr inż. Michał Skonieczny jest współautorem 13 prac naukowych w czasopismach z listy filadelfijskiej (w tym są publikacje stanowiące podstawę rozprawy doktorskiej **P1-P7**). Był również wykonawcą w projekcie Narodowego Centrum Nauki oraz w projekcie NCHEM.4 finansowanym przez Politechnikę Warszawską. Uzupełnieniem dorobku jest siedem wystąpień konferencyjnych, krajowych i zagranicznych.

Uważam, że rozprawa pt.: *“Otrzymywanie i charakterystyka nowej generacji płynów roboczych w technologii chłodnictwa absorpcyjnego”* przedstawiona przez Pana mgr. inż. Michała Skoniecznego spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustawie z 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Zawiera bowiem, istotne elementy nowości naukowej oraz potwierdza niezbędną ogólną wiedzę teoretyczną Autora oraz Jego umiejętności samodzielnego prowadzenia prac badawczych. W związku z powyższym stwierdzam, że zasługuje w pełni na dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

A. Świdelski - Marf

Poznań, 15 września 2025 roku