

Toruń, 19 lipca 2026

Prof. dr hab. Wojciech KUJAWSKI

email: wkujawski@umk.pl

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Rafała Zbonikowskiego, zatytułowanej:

"Nanoarchitectonics of Adaptive Colloidal Langmuir Films at the Air-Water Interface",

wykonanej pod kierunkiem dr. hab. Jana Jakuba Paczesnego, prof. IChF

Podstawa prawna

Recenzja została wykonana na podstawie Uchwały Rady Naukowej Instytutu Chemii Fizycznej PAN z dnia 13 kwietnia 2026.

Wybór tematyki pracy

Tematyka pracy doktorskiej dotyczy badań nad wytwarzaniem oraz charakterystyką nanoarchitektoniki koloidalnych filmów Langmuira, reagujących na bodźce zewnętrzne.

Temat wpisuje się w aktualne kierunki badań prowadzonych w wielu ośrodkach naukowych, związanych z rozwojem nanotechnologii i inżynierii molekularnej. Podczas gdy układy trójwymiarowe są intensywnie badane, badania układów dwuwymiarowych na granicy ciecz-ciecz i ciecz-gaz pozostają relatywnie słabo opisane. Cienkie warstwy, takie jak membrany biologiczne, są kluczowymi elementami kompartmentalizacji i funkcjonalizacji organizmów żywych. Przykłady sztucznych struktur responsywnych tego typu są ograniczone. Z tego względu należy podkreślić wagę i nowatorski aspekt prowadzonych przez doktoranta badań.

Strona edytorska rozprawy

Rozprawa została napisana w języku angielskim, w układzie klasycznym i zawiera 152 ponumerowane strony, 37 rysunków (22 w tekście rozprawy oraz 15 – w uzupełnieniach) oraz 7 tabel (w tym 3 w uzupełnieniach).

Tekst rozprawy został podzielony na kilka głównych części (Introduction, Literature review, Aim of the study, Experimental, Summary, References). Najistotniejsze części, czyli przegląd literaturowy oraz część eksperymentalna posiadają zdublowaną numerację – w pracy można znaleźć dwa rozdziały oznaczone jako "Rozdział 1", dwa rozdziały 2, czy też dwa rozdziały 3 i 4. Zdecydowanie utrudniło to czytanie i analizowanie rozprawy. Sugeruje to także, że Autor nie poradził sobie ze strukturą dość obszernej pracy. Ponadto, mankamentem pracy jest brak listy skrótów i symboli. Rozprawę kończy lista odnośników literaturowych, zawierająca 355 pozycji. Tak duża liczba referencji wskazuje na bardzo szerokie i skrupulatne podejście doktoranta do tematu rozprawy.

Autor dołączył także podziękowania, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz listę własnych osiągnięć naukowych (publikacji, patentów). Lista publikacji (w sumie 15 oraz jedno zgłoszenie patentowe) wskazuje na bardzo duże zaangażowanie doktoranta nie tylko we własną tematykę, ale także potwierdza aktywne włączanie się w prace innych zespołów badawczych.

Zgodnie z informacją zamieszczoną na stronie 21 rozprawy, przegląd literaturowy został w części napisany na podstawie publikacji "Adaptive 2D and Pseudo-2D Systems: Molecular, Polymeric, and Colloidal Building Blocks for Tailored Complexity" - Nanomaterials (2023, 13, 855), której Doktorant jest pierwszym autorem.

Część "Literature review", została podzielona na 4 rozdziały. Autor scharakteryzował nanotechnologię (rozdział 1), przybliżając jej różne aspekty. Następnie, w rozdziale 2, przedyskutowane zostały układy 2D i pseudo-2D. Rozdział 3 opisuje podstawy projektowania adaptacyjnych układów 2D i pseudo-2D. Ponadto, Autor przedstawił także zjawiska międzyfazowe oraz oddziaływania pomiędzy cząstkami na granicy faz (rozdział 3.3). Niestety, przytoczone równania nie posiadają numeracji, dlatego też trudno się odwoływać do konkretnego równania bez podawania dodatkowych informacji (np. numer strony). Rozdział 4 stanowi przegląd wiedzy związanej z filmami Langmuira, zjawiskami międzyfazowymi oraz nanoarchitektoniką koloidalnych filmów Langmuira. Autor opisał konstrukcję wanien Langmuira, a także przedstawił różne metody formowania monowarstw z wykorzystaniem wanny Langmuira. Rozdział 4 (części literaturowej), kończy opis podstaw teoretycznych monowarstw Langmuira.

W rozdziale "The aim of the study" Autor uzasadnił podjęcie tematyki badań i scharakteryzował główne cele rozprawy, wspominając także o wykonanych badaniach, które nie zakończyły się pełnym sukcesem (m.in. podatność magnetyczna uformowanych filmów). Dobrze byłoby rozwinąć ten wątek podczas obrony rozprawy doktoratu – jakie mogą być przyczyny braku powtarzalności uzyskiwanych wyników, czy planowane są dalsze badania?

Zasadnicza część rozprawy to "Experimental" obejmuje 4 rozdziały, opisujące uzasadnienie wyboru i syntezy nanocząsteczek badanych w pracy (rozdział 1), materiały i metody (rozdział 2) oraz wyniki i ich dyskusja dla subfazy wodnej (rozdział 3) oraz subfazy stanowiącej roztwór KCl (rozdział 4).

Informacje zawarte w rozdziale 2 są niestety napisane dość ogólnie, w celu np. dokładnego prześledzenia procesu syntezy nanocząstek P_{Si}FeNPs konieczne było szczegółowe zapoznanie się z publikacją w ACS Omega.

Wyniki przedstawione w tej części pracy zostały opublikowane przez Doktoranta w dwóch publikacjach:

Zbonikowski, R.; Iwan, M.; Paczesny, J.* Stimuli-Responsive Langmuir Films Composed of Nanoparticles Decorated with Poly(N-Isopropyl Acrylamide) (PNIPAM) at the Air/Water Interface. **ACS Omega** 2023, 8, 23706–23719.

Zbonikowski, R.; Aryanfar, A.; Iwan, M.; Presselt, M.; Paczesny, J.* Langmuir Nanoarchitectonics of Thermoresponsive Adaptive System of PNIPAM-Decorated Nanoparticles Induced by the Ionic Strength of the Subphase. **The Journal of Physical Chemistry C** 2025, 129, 13406–13419.

Jak wspomniano wcześniej, układ pracy jest poprawny, z wymienionymi zastrzeżeniami dotyczącymi podwójnej numeracji rozdziału i braku numeracji równań. Ponieważ praca została napisana w języku angielskim, można postawić pytanie, czy taka decyzja wynikała ze standardów przyjętych w Instytucie Chemii Fizycznej PAN czy też był to przemyślany wybór Doktoranta?

Ocena merytoryczna rozprawy

W typowej rozprawie doktorskiej, rozdział zawierający przegląd literaturowy jest wprowadzeniem do części merytorycznej pracy, powinien obejmować aktualny stan wiedzy oraz wskazywać istniejące luki w stanie wiedzy, które mogą być uzupełnione w wyniku realizacji projektu doktorskiego. Doktorant w sposób wyczerpujący wypełnił ten warunek.

Realizując cele rozprawy, Doktorant zsyntezował dwa rodzaje termoresponsywnych nanocząstek, pokrytych poli(N-izopropylakryloamidem) o relatywnie krótkich łańcuchach

(20-29 merów). W pierwszym przypadku (I seria) rozmiar nanocząstek P_{Si}FeNPs wynosił 90 nm, a w drugim przypadku (II seria) – 65 nm. Nanocząstki serii I badane były w wodzie jako subfazie, natomiast nanocząstki II serii badane były w subfazie przygotowanej z roztworu KCl. Poli(N-izopropylakryloamid) wykazuje właściwości termoresponsywne, przejawiając właściwości hydrofilowe poniżej temperatury krytycznej roztworu (32°C) i właściwości hydrofobowe, powyżej tej temperatury.

Po zapoznaniu się z tekstem rozprawy oraz publikacjami, można przekazać kilka uwag oraz postawić kilka pytań do dyskusji podczas obrony.

1. Na stronie 59 Autor wyraził energię wiązania SiO jako 100 kcal mol⁻¹. Zgodnie z układem SI energię wiązań należy wyrażać w kJ mol⁻¹.
2. Czy Doktorant brał pod uwagę inne polimery o właściwościach termoresponsywnych? Jak długość łańcucha poli(N-izopropylakrylamidu) będzie wpływać na właściwości?
3. Jakie jest znaczenie wyrażenia $\text{tg } \alpha = 0.022$ na rys. 12 a oraz $\text{tg } \alpha = 0.040$ na rys. 12 b (insert)? Jeżeli jest to wizualizacja liniowej zależności pomiędzy powierzchnią a stężeniem, to posługiwaniem się wyrażeniem $\text{tg } \alpha$ zamiast nachylenia ($\Delta y/\Delta x$) jest niepoprawne.
4. Proszę o dokładniejszą analizę wyników przedstawionych w rozdziale 3.5 – mikroskopia kąta Brewstera.
5. Jak zwiększenie stężenia KCl powyżej 0.1 M wpłynie na charakterystykę badanych układów?
6. Czy Autor zbadał zachowanie nanocząstek serii I i serii II dla identycznej subfazy (np. wody)? Jakich zmian można się spodziewać zmieniając średnicę nanocząstki?
7. Czy Doktorant zamierza kontynuować badania, uzyskując także wyjaśnienie dotyczących niespodziewanych wyników (w roztworach KCl jako subfazie) oraz wyników, które charakteryzowały się małą powtarzalnością.

Pomimo pewnej ilości uwag krytycznych (o charakterze dyskusyjnym), stwierdzam, że Doktorant podjął bardzo ważny i aktualny temat badawczy, uzyskując bardzo dużo wartościowych i nowatorskich wyników.

Podsumowując, rozprawa doktorska mgr. inż. Rafała Zbonikowskiego **"Nanoarchitectonics of Adaptive Colloidal Langmuir Films at the Air-Water Interface"**, spełnia wymagania ustawy "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" i niniejszym wnioskuje do Rady Naukowej o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Rafała Zbonikowskiego
"Nanoarchitectonics of Adaptive Colloidal Langmuir Films at the Air-Water Interface".

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne i uporządkowane badania związane z mało zbadanym tematem adaptacyjnych układów koloidalnych 2D i pseudo-2D. Dostarczyła także fizykochemicznej interpretacji nanoarchitektoniki warstw Langmuira, składających się ze stosunkowo dużych nanocząstek, pokrytych termoczułą warstwą polimerową na granicy faz powietrze-woda. Rozprawa przedstawiła także nowe, nieoczekiwane zjawiska, które wystąpiły po dodaniu KCl do układu. Zaprojektowane, wykonane i zinterpretowane przez Doktoranta eksperymenty pozwoliły na dokładny opis interakcji między nanocząstkami i ich właściwościami na granicy faz powietrze-woda, w zależności od bodźców zewnętrznych. Doktorant wykazał się dużymi zdolnościami do planowania, wykonania oraz zinterpretowania otrzymanych wyników.

Doktorant jest także współautorem 15 publikacji (przygotowanych w latach 2022-2026) oraz 1 zgłoszenia patentowego.

Wojciech
Kujawski

Digitally signed by
Wojciech Kujawski
Date: 2026.07.20
02:01:10 +02'00'

prof. dr hab. Wojciech Kujawski