



22 marca 2026 r.

prof. dr hab. Mariusz Puchalski
Wydział Chemii
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8
61-714 Poznań
mariusz.puchalski@amu.edu.pl

Recenzja osiągnięcia naukowego zatytułowanego

„Bilans energii i termodynamika stanów stacjonarnych”

oraz dorobku naukowego, działalności organizacyjnej, dydaktycznej i popularyzatorskiej dr Karola Makucha w związku z postępowaniem habilitacyjnym

Podstawą niniejszej recenzji osiągnięcia naukowego oraz całokształtu dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego w postępowaniu habilitacyjnym jest wniosek dr Karola Makucha z dnia 5 sierpnia 2025 roku wraz z załącznikami. Ocenę przeprowadziłem w oparciu o ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku, z późniejszymi zmianami.

Przebieg kariery naukowej

Dr Karol Makuch ukończył w 2005 roku studia magisterskie w zakresie fizyki na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. W 2011 roku uzyskał na tym samym wydziale stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki na podstawie wyróżnionej rozprawy doktorskiej pt. „Czynnik hydrodynamiczny i efektywne współczynniki transportu zawieszin cząstek sferycznych”. Rozprawa ta wpisywała się w klasyczną problematykę fizyki statystycznej oraz fizyki płynów złożonych.

Po uzyskaniu stopnia doktora w 2011 roku dr Karol Makuch kontynuował działalność naukową na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie w latach 2011–2015 pracował jako postdok w projekcie TEAM Fundacji na rzecz Nauki Polskiej oraz kierował projektem Luventus Plus MNiSW pt. „Makroskopowe charakterystyki ośrodków dyspersyjnych”, co stanowiło jeden z pierwszych wyraźnych przejawów jego samodzielności badawczej. Od 1 grudnia 2015 roku jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, gdzie prowadzi badania z zakresu fizyki układów złożonych i procesów transportowych w układach nierównowagowych. W tym okresie odbył również dwa staże badawcze w California Institute of Technology (USA) w grupie prof. Johna Brady’ego: czteromiesięczny pobyt (01.01–30.04.2017), finansowany ze stypendium Fundacji Kościuszkowskiej, oraz roczny staż (03.2019–03.2020) w ramach programu Bekker Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej. Dr Makuch uzyskał także finansowanie własnych projektów badawczych Narodowego Centrum Nauki, kierując projektem SONATA (2017–2022), dotyczącym związku własności transportowych płynów złożonych z ich strukturą mikroskopową, a następnie projektem SONATA BIS, realizowanym od 2022 roku, pt. „Dyfuzja

sztynnych cząstek i elastycznych polimerów w płynach złożonych”. Sekwencja tych grantów świadczy o konsekwentnym rozwoju samodzielności naukowej Habilitanta oraz o jego zdolności do skutecznego pozyskiwania finansowania w coraz bardziej konkurencyjnych programach grantowych. Jednocześnie uczestniczył on jako wykonawca w kilku projektach badawczych, co potwierdza jego aktywną współpracę z różnymi zespołami naukowymi. Przebieg kariery naukowej dr. Makucha wskazuje zatem na systematyczny rozwój samodzielności badawczej, obejmujący zarówno kierowanie własnymi projektami, jak i udział w przedsięwzięciach zespołowych oraz rozwój współpracy międzynarodowej.

Ocena osiągnięcia naukowego

We wniosku habilitacyjnym dr Karol Makuch wskazał dwa zasadnicze składniki swojego osiągnięcia naukowego. Pierwszym z nich jest cykl dziewięciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych (P1–P9), poświęconych zagadnieniu bilansu energii i termodynamiki nierównowagowych stanów stacjonarnych, opublikowanych w latach 2021–2024 w uznanych czasopismach międzynarodowych z zakresu chemii fizycznej, fizyki statystycznej i fizyki płynów. Drugim elementem przedstawionego do oceny osiągnięcia jest formalizm opisu dyfuzji w płynach złożonych, prowadzący do uogólnienia klasycznej relacji Stokesa–Einsteina. Z przedstawionej dokumentacji wynika, że Habilitant przywiązuje do tego wyniku szczególną wagę i traktuje go jako jedno z najważniejszych osiągnięć swojego dorobku poza cyklem stanowiącym podstawę wniosku.

Zasadnicza część osiągnięcia habilitacyjnego związana jest jednak z cyklem prac dotyczącym termodynamiki nierównowagowych stanów stacjonarnych. Główną wartością tego cyklu jest systematyczna próba konstrukcji opisu termodynamicznego stanów stacjonarnych w oparciu o globalny bilans energii. W ujęciu Habilitanta stan taki charakteryzuje się tym, że przy ustalonych parametrach kontrolnych wielkości makroskopowe pozostają stałe w czasie, pomimo ciągłego przepływu ciepła przez układ. Problematyka ta należy do fundamentalnych zagadnień współczesnej fizyki statystycznej: podczas gdy klasyczna termodynamika dostarcza dojrzałego opisu układów w stanie równowagi, ogólna teoria układów pozostających poza równowagą nadal nie została w pełni sformułowana. Przedstawione prace koncentrują się na analizie globalnego bilansu energii, rozpatrywanego zarówno w samych stanach stacjonarnych, jak i w przejściach pomiędzy takimi stanami. Na tej podstawie Autor formułuje propozycję wprowadzenia wielkości o interpretacji analogicznej do klasycznych funkcji termodynamicznych, a następnie bada relacje pomiędzy parametrami stanu układu a jego własnościami energetycznymi. W tym sensie cykl ten wpisuje się w nurt badań nad możliwością konstrukcji termodynamiki stanów stacjonarnych, obecny w literaturze, między innymi w pracach Oono i Paniconiego, Sasy i Tasakiego oraz w rozwijanej później stochastycznej termodynamice.

Prace wchodzące w skład cyklu można uporządkować zgodnie z kolejnymi etapami rozwoju przedstawionej koncepcji, prowadzącymi od wstępnych analiz układów modelowych do bardziej systematycznej konstrukcji formalizmu termodynamicznego. W pierwszym etapie, obejmującym publikacje P1–P3, analizowane są podstawowe własności układów pozostających w nierównowagowych stanach stacjonarnych oraz formułowane są wstępne przesłanki dla konstrukcji ich opisu termodynamicznego. Z przedstawionych materiałów wynika, że prace te powstały w ramach szerszego programu badawczego rozwijanego w grupie prof. Roberta Hołysta, który zainicjował podjęcie problematyki termodynamiki stanów stacjonarnych. W pracy P1 analizowany jest układ wykazujący nierównowagowe przejście fazowe, w którym objętościowo ogrzewany gaz

doskonały rozdzielony jest ruchomą ścianką. Wykazano istnienie dwóch stabilnych stanów stacjonarnych oraz wprowadzono funkcję o charakterze zbliżonym do potencjału termodynamicznego, pozwalającą — poprzez zasadę ekstremum — określić położenie ścianki. Z punktu widzenia dalszego rozwoju cyklu istotne jest jednak to, że wprowadzenie tej wielkości ma w pewnym stopniu charakter ad hoc i nie zostało jeszcze powiązane z pełnym formalizmem relacji fundamentalnej. Prace P2 i P3 rozwijają analizę układów nierównowagowych poprzez badanie magazynowania energii w stanie stacjonarnym oraz dynamiki przejść między stanami stacjonarnymi. W szczególności analizowane są efekty związane z obecnością energii kinetycznej oraz mechanizmy kształtowania się struktur w układzie podczas przejść między stanami. Prace te dostarczają istotnych obserwacji i stanowią naturalne przygotowanie do późniejszej, bardziej systematycznej konstrukcji formalizmu termodynamicznego, przedstawionej w kolejnych publikacjach cyklu.

Szczególnie istotne znaczenie ma praca P4, którą można uznać za punkt wyjścia dla systematycznej konstrukcji formalizmu rozwijanego w kolejnych publikacjach. To właśnie w tej pracy analiza globalnego bilansu energii prowadzi do wprowadzenia wielkości pełniącej rolę entropii opisującej przejścia między nierównowagowymi stanami stacjonarnymi, a także do relacji mających charakter analogii do klasycznej relacji fundamentalnej i zasad ekstremum. Z przedstawionej dokumentacji wynika, że istotnym wkładem Habilitanta było sformułowanie podejścia opartego na bilansie energii w przejściach między stanami stacjonarnymi oraz jego konsekwentne rozwinięcie w kolejnych pracach; w P4 jego rola miała charakter wiodący. W pracach P5–P7 rozwijana jest druga z kluczowych idei cyklu, związana z konstrukcją relacji fundamentalnej dla nierównowagowych stanów stacjonarnych w układach oddziaływających. Szczególnie w P5, dotyczącym gazu van der Waalsa w stanie stacjonarnym z przepływem ciepła, wykazano, że globalna wymiana energii może być opisana przy użyciu ograniczonej liczby parametrów stanu, pomimo dużej złożoności opisu na poziomie równań termohydrodynamiki. Zastosowano tu procedurę mapowania układu nierównowagowego na efektywny układ równowagowy; z przedstawionych materiałów wynika, że inicjatorem tej idei był prof. R. Hołyst, natomiast wkład Habilitanta polegał na jej istotnym rozwinięciu, zwłaszcza poprzez wprowadzenie efektywnych parametrów oddziaływania i analizę własności różniczkki ciepła. W pracach P6 i P7 formalizm rozszerzono na mieszaniny gazów i układy w polu grawitacyjnym. W pracy P8 formalizm został zastosowany do układu z przepływem ścinającym, a więc do sytuacji, w której pojawia się dodatkowy mechanizm dyssypacji związany z ruchem makroskopowym. Również w tym przypadku Habilitant odegrał rolę wiodącą, rozszerzając bilans energii o wkład związany z nadwyżkową pracą ścinania oraz uogólniając konstrukcję formalizmu na układy z przepływem pędu. Ważnym dopełnieniem cyklu jest P9 — praca jednoautorska, poświęcona modyfikacji pierwszej zasady termodynamiki dla przepływów konwekcyjnych — która ma szczególne znaczenie z punktu widzenia oceny samodzielności badawczej Habilitanta. Prace P4–P9 tworzą spójny rozwój dwóch powiązanych idei: analizy bilansu energii jako podstawy formalizmu termodynamicznego dla stanów stacjonarnych oraz wykorzystania efektywnych parametrów stanu poprzez procedury mapowania. Na tym tle wkład Habilitanta należy uznać za znaczący, zwłaszcza w zakresie rozwinięcia podejścia opartego na bilansie energii. Należy jednak zaznaczyć, że dorobek ten powstawał w ścisłej współpracy zespołowej, przede wszystkim z prof. Robertem Hołystem i współpracownikami, co znajduje odzwierciedlenie zarówno w układzie autorstwa, jak i w opisie podziału ról zawartym w autoreferacie.

Pewnym ograniczeniem przedstawionego cyklu jest jego wyraźnie modelowy charakter. Formalizm został rozwinięty głównie dla stosunkowo prostych układów hydrodynamicznych i termohydrodynamicznych, co sam Habilitant pośrednio sygnalizuje, wybierając najpierw najprostsze

możliwe układy odniesienia. W konsekwencji zakres stosowalności tego podejścia do bardziej złożonych układów fizycznych — zwłaszcza takich, w których występują silne fluktuacje, skomplikowana geometria lub wiele sprzężonych procesów transportu — pozostaje kwestią otwartą. Nie stanowi to jednak istotnego zarzutu, lecz raczej naturalną konsekwencję trudności badanego problemu, a zarazem oczywisty kierunek dalszych badań. Nie jest także w pełni rozstrzygnięte, w jakim stopniu proponowane ujęcie ma charakter ogólny, a w jakim pozostaje skutecznym opisem wybranej klasy modeli. Uwagi te nie osłabiają jednak pozytywnej oceny osiągnięcia, lecz raczej wyznaczają jego naturalne perspektywy rozwoju.

Drugim elementem przedstawionego do oceny osiągnięcia jest formalizm opisu dyfuzji w płynach złożonych, prowadzący do uogólnienia relacji Stokesa–Einsteina. Chociaż wynik ten ma charakter przybliżony, stanowi użyteczne narzędzie interpretacji danych eksperymentalnych w sytuacjach, w których klasyczna zależność zawodzi. Kierunek ten ma wyraźnie autorski charakter i jest obecnie rozwijany w ramach projektu SONATA BIS, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, co wskazuje na rosnącą samodzielność badawczą Habilitanta oraz budowanie własnej linii badawczej i zespołu współpracowników.

Podsumowując, w mojej ocenie przedstawiony cykl publikacji stanowi spójne i merytorycznie wartościowe osiągnięcie naukowe, spełniające kryterium określone w art. 219 ust. 1 pkt 2 lit. b ustawy. Prace te wnoszą istotny wkład w rozwój badań z zakresu chemii fizycznej, w szczególności w obszarze termodynamiki układów nierównowagowych i fizyki statystycznej układów złożonych. Należy podkreślić, że problematyka ta mieści się w zakresie chemii fizycznej, stanowiącej integralną część dyscypliny nauki chemicznej, zwłaszcza w kontekście opisu procesów transportu, kinetyki oraz własności układów złożonych. Dorobek Habilitanta powstawał w znacznej mierze w ramach współpracy zespołowej, jednak z przedstawionej dokumentacji jednoznacznie wynika jego znaczący, a w kilku kluczowych pracach dominujący wkład koncepcyjny, zwłaszcza w zakresie sformułowania i rozwinięcia podejścia opartego na analizie bilansu energii. Na szczególne podkreślenie zasługuje także obecność publikacji jednoautorskiej, potwierdzającej zdolność Habilitanta do samodzielnego formułowania i doprowadzania do końca problemów badawczych. Dodatkowy kierunek badań nad dyfuzją w płynach złożonych, rozwijany w ramach własnego projektu badawczego, wzmacnia obraz rosnącej niezależności naukowej oraz wskazuje na zdolność Habilitanta do inicjowania nowych, autorskich linii badawczych.

W świetle powyższego należy uznać, że przedstawione osiągnięcie naukowe stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny nauki chemicznej i spełnia ustawowe przesłanki do nadania stopnia doktora habilitowanego.

Ocena dorobku naukowego

W chwili składania materiałów habilitacyjnych dorobek publikacyjny dr. Karola Makucha obejmował 27 publikacji naukowych, z czego 22 po uzyskaniu stopnia doktora. Oprócz cyklu habilitacyjnego obejmującego 9 prac, Habilitant wykazał 13 pozostałych artykułów opublikowanych po doktoracie. Są to publikacje zamieszczone w uznanych międzynarodowych czasopismach z zakresu fizyki statystycznej, fizyki płynów, chemii fizycznej i mikrofluidyki. Suma punktów MNiSW/MEiN wynosi 3180, co należy uznać za wynik bardzo dobry i świadczący o systematycznym publikowaniu w czasopismach o ugruntowanej pozycji. Parametry bibliometryczne dorobku również należy ocenić pozytywnie. Według danych Web of Science z lipca 2025 r. publikacje Habilitanta były cytowane 261 razy, w tym 226 razy bez autocytowań, a indeks Hirscha wynosi 9. Nie są to wprawdzie wskaźniki wyjątkowo wysokie w sensie czysto liczbowym, jednak w pełni odpowiadają profilowi badacza

rozwijającego dość wyspecjalizowaną tematykę z pogranicza fizyki statystycznej, termodynamiki nierównowagowej i płynów złożonych. Należy przy tym podkreślić, że dorobek ten jest spójny tematycznie i rozwijany konsekwentnie, co zwiększa jego wartość merytoryczną.

Na szczególne podkreślenie zasługuje aktywność grantowa Habilitanta. Był on kierownikiem trzech projektów finansowanych w trybie konkursowym: luventus Plus (2013–2015), SONATA NCN (2017–2022) oraz obecnie realizowanego SONATA BIS NCN (od 2022 r.) pt. „Dyfuzja sztywnych cząstek i elastycznych polimerów w płynach złożonych”. Oprócz tego uczestniczył jako wykonawca w szeregu projektów badawczych, m.in. TEAM FNP, ERC Starting Grant, MAESTRO NCN, TEAM-NET FNP i SONATA 14 NCN. Taki profil aktywności należy ocenić bardzo wysoko: z jednej strony potwierdza on zdolność Habilitanta do samodzielnego pozyskiwania środków na badania, z drugiej zaś świadczy o tym, że jest on cenionym współpracownikiem w projektach realizowanych przez różne zespoły badawcze.

Habilitant odbył dwa staże naukowe w California Institute of Technology w grupie prof. Johna Brady’ego: czteromiesięczny staż w 2017 r., realizowany w ramach stypendium Fundacji Kościuszkowskiej, oraz roczny staż w latach 2019–2020, finansowany z programu Bekker NAWA. Ponadto w dorobku konferencyjnym wyraźnie widoczna jest aktywność międzynarodowa, obejmująca wystąpienia w USA, Niemczech, Szkocji i Polsce. Aktywność konferencyjna Habilitanta jest dobra i bardziej zróżnicowana niż w wielu podobnych przypadkach. Po doktoracie wygłosił dwa wykłady na zaproszenie, w tym w 2024 r. podczas John Brady Symposium w California Institute of Technology, co należy uznać za istotne wyróżnienie środowiskowe. Poza tym przedstawił szereg referatów i komunikatów na konferencjach krajowych i zagranicznych, m.in. na AIChE Annual Meeting, spotkaniach APS Division of Fluid Dynamics, European Conference on Computational Fluid Dynamics czy konferencjach z zakresu soft matter i fizyki płynów. Jest to aktywność wyraźna i regularna, choć można zauważyć, że liczba prestiżowych wykładów zaproszonych pozostaje nadal umiarkowana. Nie stanowi to jednak słabej strony wniosku, lecz raczej element, który może być dalej rozwijany w kolejnych latach. Na uwagę zasługuje również aktywność recenzencka. Habilitant recenzował około 30 artykułów naukowych dla bardzo dobrych międzynarodowych czasopism. Taki zakres aktywności wskazuje, że jest postrzegany jako kompetentny specjalista przez redakcje cenionych międzynarodowych periodyków.

Podsumowując, dorobek naukowy dr. Karola Makucha należy ocenić jako spójny, systematycznie rozwijany i wyraźnie dojrzewający w kierunku samodzielności naukowej. Obejmuje on wartościowe publikacje, dobrze udokumentowaną aktywność grantową, przekonującą mobilność międzynarodową, aktywność konferencyjną oraz udział w recenzowaniu prac dla uznanych czasopism. W mojej ocenie dorobek ten spełnia wymóg istotnej aktywności naukowej, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt 3 ustawy, a łącznie z ocenionym wcześniej osiągnięciem naukowym tworzy podstawę do pozytywnej oceny wniosku habilitacyjnego.

Ocena działalności organizacyjnej, dydaktycznej i popularyzatorskiej

Działalność dydaktyczna dr. Karola Makucha jest zróżnicowana i obejmuje zarówno okres pracy na uczelni, jak i późniejszą aktywność w instytucie badawczym. W latach 2005–2015, będąc związanym z Wydziałem Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, prowadził liczne zajęcia dydaktyczne w formie ćwiczeń, obejmujące kluczowe przedmioty z zakresu fizyki teoretycznej, takie jak mechanika klasyczna, mechanika statystyczna, termodynamika fenomenologiczna, elektrodynamika ośrodków materialnych czy metody funkcji Greena w fizyce materii skondensowanej. Zakres i liczba prowadzonych zajęć wskazują na znaczące doświadczenie dydaktyczne zdobyte na wczesnym etapie

kariery. Po podjęciu pracy w Instytucie Chemii Fizycznej PAN działalność dydaktyczna Habilitanta przyjęła formę typową dla instytutów badawczych i koncentrowała się przede wszystkim na kształceniu młodej kadry naukowej. Był promotorem pomocniczym dwóch rozpraw doktorskich oraz opiekunem prac dyplomowych (licencjackich i magisterskiej), a obecnie pełni funkcję promotora pomocniczego kolejnych doktorantów. Wskazuje to na ciągłość zaangażowania w działalność dydaktyczną oraz na doświadczenie w indywidualnej pracy ze studentami i doktorantami. Dodatkowym elementem aktywności dydaktycznej było prowadzenie wykładów poza macierzystą instytucją, w tym wykładu na Uniwersytecie Guanajuato w Meksyku (2018). Habilitant angażował się również w działalność popularyzatorską w ramach Festiwalu Nauki.

W zakresie działalności organizacyjnej dr Karol Makuch wykazuje aktywność adekwatną do etapu kariery naukowej. Kluczowym jej elementem jest kierowanie projektami badawczymi, w tym prestiżowym projektem SONATA BIS, co wiąże się z organizacją pracy zespołu badawczego, zarządzaniem środkami finansowymi oraz planowaniem długofalowych działań naukowych. Na uwagę zasługuje także działalność ekspercka. Habilitant pełnił funkcję eksperta Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości, uczestnicząc w panelu oceniającym w konkursie Ścieżka SMART (nabór 2023), co świadczy o uznaniu jego kompetencji przez instytucje zewnętrzne. W dorobku Habilitanta znajduje się również aktywność organizacyjna związana ze środowiskiem naukowym — był członkiem lokalnego komitetu organizacyjnego „3rd Warsaw School of Statistical Physics” (Kazimierz Dolny, 2009). Choć działalność ta przypada na wcześniejszy etap kariery, stanowi uzupełnienie obrazu jego zaangażowania w organizację wydarzeń naukowych. Na szczególne podkreślenie zasługuje również obecność dorobku w zakresie własności przemysłowej — Habilitant jest współautorem dwóch patentów. W przypadku badań o charakterze w dużej mierze teoretycznym należy uznać to za osiągnięcie wyróżniające, wskazujące na potencjał aplikacyjny prowadzonych badań.

Podsumowując, działalność dydaktyczna, organizacyjna i popularyzatorska dr. Karola Makucha jest zróżnicowana i adekwatna do etapu jego kariery oraz charakteru zatrudnienia. Szczególnie pozytywnie należy ocenić jego doświadczenie dydaktyczne zdobyte na Uniwersytecie Warszawskim, zaangażowanie w kształcenie młodych naukowców, aktywność grantową oraz działalność ekspercką. Całościowość tej działalności należy ocenić pozytywnie.

Podsumowanie

Stwierdzam, że przedstawione do recenzji osiągnięcia naukowe dr. Karola Makucha, składające się z cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych poświęconych termodynamice nierównowagowych stanów stacjonarnych, stanowi znaczący wkład w rozwój dyscypliny nauki chemicznej, w szczególności w obszarze chemii fizycznej. Uwzględniając całościowość dorobku naukowego, a także działalność dydaktyczną, organizacyjną i ekspercką Habilitanta, należy uznać, że spełnione zostały ustawowe wymagania określone w art. 219 ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, stawiane kandydatom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. W związku z powyższym popieram wniosek o dopuszczenie dr. Karola Makucha do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

Mariusz Puchalski