

Warszawa, dn. 27. 06. 2025r

Prof. dr hab. Andrzej Kulczycki,
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
ul. Księcia Bolesława 6
01-494 Warszawa

RECENZJA

**w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
dr inż. Magdalenie Łepickiej.**

I. Podstawa formalna

Podstawę formalną stanowi decyzja Rady Doskonałości Naukowej z dnia 10 kwietnia 2025 roku w sprawie wyznaczenia części składu komisji habilitacyjnej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dr Magdalenie Łepickiej w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz umowa z: Politechniką Białostocką, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, NIP: 542-020-87-21, zwaną w treści umowy Uczelnią, reprezentowaną przez prof. dr hab. inż. Krzysztofa J. Kurzydłowskiego – Dyrektora Instytut Inżynierii Mechanicznej Politechniki Białostockiej

Recenzję opracowano na podstawie następujących materiałów:

1. Wniosek z dnia 05.03.2025 r. o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*
2. Dane wnioskodawcy
3. ZAŁĄCZNIK 3: Autoreferat pt.: Badania dynamiki procesów tarcia i zużycia powłok przeciwzużyciowych
4. ZAŁĄCZNIK 4: wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny; Badania dynamiki procesów tarcia i zużycia powłok przeciwzużyciowych
5. ZAŁĄCZNIK 5: Zestawienie wybranych publikacji w czasopismach naukowych
6. ZAŁĄCZNIK 6: oświadczenia współautorów
7. ZAŁĄCZNIK 7: analiza dorobku naukowego
8. ZAŁĄCZNIK 8: dyplomy, poświadczenia

II. Opinia dotycząca osiągnięcia naukowego

1. Uwagi ogólne

Dr inż. Magdalena Łepicka jako osiągnięcie naukowe wybrała cykl 7 publikacji przedstawiających wyniki prac składających się na badania dynamiki procesów tarcia i zużycia powłok przeciwzużyciowych. Wybrane publikacje składają się na spójną całość dającą pogląd na wkład habilitantki w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Wyniki badań stanowiące podstawę dla oceny osiągnięcia naukowego opublikowane zostały w recenzowanych, wysokopunktowanych czasopismach naukowych, a więc: Reviews On Advanced Materials Science, Wear, Materials i Tribology International. Publikacje obejmują lata 2019 – 2024. Wkład habilitantki w naukową część artykułów jest dominujący. Procentowy udział dr inż. Magdaleny Łepickiej w przygotowaniu artykułów jest od 45 do 100%. Stosunkowo liczne zespoły autorów wskazują, że habilitantka potrafi współpracować z zespołami często interdyscyplinarnymi, nadając ich pracy określony kierunek.

2. Charakterystyka badań składających się na osiągnięcie naukowe i ocena merytoryczna

Kluczowym elementem wybranych jako osiągnięcie jest analiza właściwości materiałów funkcjonalnych, takich jak cienkie powłoki przeciwzużyciowe, które stosuje się w celu ochrony metalicznych podłoży przed zniszczeniem.

Powłoki TiN (azotku tytanu) są cienkimi warstwami przeciwzużyciowymi często stosowanymi w różnych gałęziach przemysłu, takich jak przemysł narzędziowy, medyczny czy lotniczy. Charakteryzują się one wysoką twardością, doskonałą odpornością na zużycie oraz chemiczną stabilnością. Dodatkowo, ich właściwości antykorozyjne i biokompatybilność sprawiają, że są szeroko wykorzystywane w implantologii oraz w produkcji narzędzi chirurgicznych,

Drugą grupą powłok badanych przez habilitantkę, to powłoki DLC, popularne dzięki swoim unikalnym właściwościom, takimi jak niski współczynnik tarcia, wysoka odporność na zużycie oraz wysoki moduł sprężystości. Dzięki swojej amorficznej strukturze węglowej, powłoki DLC charakteryzują się wyjątkowymi właściwościami smarnymi, w tym w warunkach tarcia suchego. Są one szeroko stosowane w przemyśle motoryzacyjnym, jak również w biomedycynie.

Jako cel badań naukowych habilitantka przyjęła identyfikację mechanizmów tarcia i zużycia powłok przeciwzużyciowych z uwzględnieniem ich zmienności w czasie.

Aby zrealizować ten cel, zaproponowała nowe podejście łączące konwencjonalne techniki pomiarowe stosowane w tribologii z metodami analizy szeregów czasowych opartymi na teorii chaosu. Wśród celów szczegółowych należy wyróżnić:

- Analizę wpływu struktury i właściwości mechanicznych modelowych powłok ceramicznych na ich trwałość i skuteczność przeciwzużyciową
- Poznanie dynamiki tarcia i zużycia modelowych układów z modyfikowaną warstwą powierzchniową.
- Opracowanie metody oceny progresji zużycia powłok przeciwzużyciowych na podstawie przebiegów czasowych wybranych sygnałów tribologicznych. Aby zrealizować ten cel, połączono zaawansowane techniki mikroskopowe (SEM, FIB) z nieliniowymi metodami analizy sygnałów (DCRP, RQA). Zaproponowano nowe wskaźniki diagnostyczne umożliwiające wczesne wykrywanie oznak degradacji powłok przeciwzużyciowych.

W badaniach wykorzystano dwie powłoki przeciwzużyciowe: azotek tytanu (TiN) oraz węgiel diamentopodobny (DLC), które naniesiono na trzy rodzaje podłoża metalicznych: nierdzewną stal austenityczną AISI 316LVM, nierdzewną stal martenzytyczną AISI 440B oraz dwufazowy stop tytanu Ti6Al4V. Powłoki zostały osadzone różnymi metodami w celu zapewnienia ich odpowiedniej przyczepności i jednorodności na podłożach o odmiennych właściwościach mechanicznych.

Przedstawione w wybranych publikacjach badania prowadzą się do testów tribologicznych na tribometrze T11 typu ball-on-disc. W trakcie pomiarów w sposób ciągły dokonywano pomiarów współczynnika tarcia, temperatury w bliskim otoczeniu strefy tarcia, a po zakończeniu testu mierzono objętościowe zużycie dysku. Habilitantka jako osiągnięcie przyjęła opracowanie opartej na badaniu zmienności w czasie współczynnika tarcia i temperatury metody oceny wpływu struktury warstwy wierzchniej elementu pokrytego warstwą TiN lub DLC na zużycie. Jest to niewątpliwym osiągnięciem naukowym, pozwalającym nie tylko uzyskać potrzebny efekt w postaci ograniczonej skłonności powierzchni do zużycia, ale również wyjaśnić przyczyny tego efektu.

Interesującą kwestią, aczkolwiek nie zaznaczoną wyraźnie w publikacjach, jak również w przygotowanym przez dr inż. Łępicką autoreferacie jest wpływ podłoża, na którym osadzone są warstwy przeciwzużyciowe na przebieg procesu tarcia. Wpływ ten jest bardzo widoczny, chociażby na wykresach w publikacji w *Materials* **2021**, *14*, 3342. Szkoda, że Habilitantka nie odniosła się do tej kwestii.

Niewątpliwie mocną stroną dorobku dr inż. Łępickiej jest analiza śladów zużycia po testach tarciovych. Wskazuje ona na zmiany w strukturze pokrycia, co przyczynia się do głębszej analizy zjawisk w trakcie tarcia.

3. Miejsce osiągnięcia na tle współczesnego stanu wiedzy

Tematyka badawcza dotyczy zagadnień tribologii – tarcia suchego, a właściwie technicznie suchego powierzchni stalowych pokrytych powłokami przeciwdrobnociennymi: azotku tytanu i DLC. Badania nad zastosowaniem takich powłok są w ostatnim okresie prowadzone przez różne ośrodki naukowe i przemysłowe w całym świecie, w tym w Polsce. Badania tribologiczne odnoszą się zarówno do tarcia technicznie suchego, jak również do smarowanych węzłów tarcia. Opisane w literaturze badania mają zróżnicowany charakter: od prac o charakterze techniczno – aplikacyjnych, przez badania makroskopowe procesów tarcia i zużycia do zagadnień na poziomie dystrybucji energii w skali molekularnej i atomowej.

Dr inż. Magdalena Łępicka wybierając tematykę swoich badań krytycznie ocenia aktualny stan badań efektywności przeciwdziałania zużyciu przez warstwy TiN i DLC: habilitantka stwierdza, że pomiary na makroskopowym poziomie maszyn tarczowych nie pozwalają analizować istotnych zjawisk na poziomie mikroskopowym lub atomowym, które decydują o efektach tribologicznych. Stąd celem badań jest opracowanie procedury wykorzystania metod dynamiki nieliniowej do badań tribologicznych. W opinii recenzenta trzecie osiągnięcie jest szczególnie interesujące. Habilitantka zauważa periodyczny charakter zmian wartości współczynnika tarcia i parametry oscylacji wprowadza do zbioru danych analizowanych przy zastosowaniu różnych metod. Zwykle do oceny przyjmuje się średnie wartości parametrów tribologicznych, a te, jak wykazała habilitantka, nie dostarczają tak wielu potrzebnych informacji jak analiza zmienności.

Rezultaty badań stanowią wkład w rozwój wiedzy o mechanizmach procesów tribologicznych w warunkach tarcia suchego. Za szczególnie cenne i ważne osiągnięcie Habilitantki uważam badanie zmiennych w czasie parametrów (współczynnik tarcia i temperatura w pobliżu strefy tarcia), a zwłaszcza analiza zmienności. Wyniki badań mogłyby być jeszcze poszerzone o badanie zmienności zużywania powierzchni, lecz to wymagałoby zastosowania innego tribometru, umożliwiającego ciągły pomiar zużycia liniowego. (np. tribometr Anton – Paar)

4. Uwagi, wątpliwości

Niewątpliwe osiągnięcia naukowe przedstawione w wybranych publikacjach nie są wolne od pewnych niedociągnięć. Słabą stroną w opinii recenzenta jest fakt, iż Habilitantka w swoich badaniach stosunkowo niewiele uwagi poświęca technologii nanoszenia warstw przeciwdrobnociennych, a skupia się na dynamice zmian ich struktury w trakcie tarcia. Wiadomo, że sposób, czy szerzej technologia nanoszenia warstw przeciwdrobnociennych ma znaczący wpływ na skuteczność przeciwdziałania zużyciu.

Technologia nanoszenia warstw przeciwdrobnociennych uwzględnia rodzaj i strukturę materiału, na którym warstwa jest położona. Habilitantka w swoich badaniach marginalnie potraktowała ten problem sprowadzając go do szlifowania i mycia powierzchni elementów stalowych przed

nanoszeniem powłoki. Te zabiegi są oczywiście konieczne, jednak w analizie wyników badań opisujących zmianę struktury warstwy przeciwzużyciowej potraktowanie podłoża stalowego jako jednorodnej struktury jest dużym uproszczeniem. Pamiętać należy, że warstwa przeciwzużyciowa kładziona jest na warstwę wierzchnią elementu stalowego, a ta istotnie różni się od struktury materiału elementu. Proces szlifowania czy polerowania elementu stalowego nie tylko zmienia topografię powierzchni, ale energetycznie uaktywnia powierzchnię, co ma wpływ na związanie warstwy przeciwzużyciowej z podłożem.

Kolejną słabą stroną badań jest brak informacji o wielkości zużycia kulki w trakcie testów. Jak wiadomo zużywaniu ulegają oba współpracujące elementy pary ciernej. Właściwości badanych przez Habilitantkę pokryć mogą minimalizować zużycie elementu pokrytego warstwą przeciwzużyciową, mogą jednocześnie zwiększać intensywność drugiego elementu (kulki w T11). Oczywiście dobór elementów i ich własności tribologicznych zależy od przeznaczenia urządzenia i w niektórych przypadkach tak dobierane są właściwości elementów współpracujących, aby jeden element nie ulegał zużyciu, a drugi może być łatwo i często wymieniany, gdy ulegnie zużyciu – przykład skojarzenie czop – panewka.

Ponadto mam uwagi do terminologii stosowanej w Autoreferacie, ale również w załączonych publikacjach. Habilitantka używa takich pojęć, jak trwałość warstwy przeciwzużyciowej i często łączy ten termin z efektywnością w przeciwdziałaniu zużyciu. Pojęcie „trwałość” zwykle odnosi się do zmian w czasie: np. element może pracować w urządzeniu X godzin lub element może być przechowywany przez Y lat. W ocenianych materiałach trwałość wydaje się być tożsama z pojęciem „odporność na zużycie”.

Kolejnym mankamentem terminologicznym jest stosowanie terminu „modyfikowana warstwa powierzchniowa”. W dosłownym rozumieniu termin ten nie ma odniesienia do przedmiotu badań: warstwa powierzchniowa nie jest zdefiniowana, a tym bardziej nie wiadomo, jak została zmodyfikowana.

Powyższy przykład nie jest w mojej opinii istotnym zarzutem, ale doświadczenie wskazuje, że precyzja używania pojęć i terminów technicznych jest ważna dla dobrego zrozumienia intencji autora tekstu.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowany dorobek, stanowiący osiągnięcie naukowe Habilitantki charakteryzuje się logiczną konstrukcją i dużą przejrzystością prezentowanych wyników badań. Zarówno same artykuły (materiał już recenzowany), jak i Autoreferat, scalający dorobek dr inż. Łępickiej, są dobrze przygotowane i w czytelny sposób prezentują osiągnięcie naukowe Habilitantki. Habilitantka wykazała się oryginalnym podejściem do analizy wyników badań tribologicznych, wprowadzając metody dynamiki nieliniowej do analizy procesów tarcia i zużycia. Niejako podsumowaniem przeprowadzonych przez

Habilitantkę badań jest opracowanie metody oceny progresji zużycia powłok przeciwzużyciowych na podstawie przebiegów czasowych wybranych sygnałów tribologicznych.

Takie podejście do procesów tribologicznych uważam za nowatorskie i wnoszące nowe możliwości sterowania tymi procesami poprzez odpowiedni dobór materiałów, z których wykonane są współpracujące elementy pary ciernej.

Badania stanowiące osiągnięcie naukowe Habilitantki mają charakter interdyscyplinarny, wymagający od Habilitantki posługiwania się narzędziami badawczymi z zakresu inżynierii materiałowej i tribologii. Habilitantka dobrze opanowała te dziedziny wiedzy, przynajmniej w zakresie potrzebnym do zrealizowania badań stanowiących przedmiot osiągnięcia naukowego.

Badania interdyscyplinarne wymagają uczestnictwa specjalistów z poszczególnych dyscyplin. W przypadku publikacji stanowiących podstawę do oceny osiągnięcia naukowego Habilitantki zespoły autorskie były zróżnicowane, jednakże Habilitantka była wiodącą, zwłaszcza w opracowaniu koncepcji badań, jak i analizie wyników badań i przygotowaniu artykułu. Umiejętność pracy w zespole, a zwłaszcza o charakterze interdyscyplinarnym jest ważną cechą pracowników naukowych. Habilitantce tę cechę niewątpliwie należy przypisać.

Podsumowując, materiał publikacyjny stanowiący podstawę osiągnięcia naukowego Habilitantki oceniam pozytywnie.

III. Ocena całokształtu dorobku naukowego, technicznego i dydaktycznego

1. Charakterystyka Habilitantki

Dr inż. Magdalena Łępicka od studiów związana jest z Politechniką Białostocką.

Pierwszy stopień studiów ukończyła i uzyskała stopień inżyniera w 2012r na Politechnice Białostockiej, Wydział Mechaniczny, Kierunek: Inżynieria biomedyczna. Tematem pracy inżynierskiej była *Analiza odporności korozyjnej elementów metalowych stałych aparatów ortodontycznych*; Promotor: dr hab. inż. Małgorzata Grądzka-Dahlke, prof. PB

Drugi stopień studiów ukończyła w 2013r uzyskując stopień magistra. Studia odbyła na Politechnice Białostockiej, Wydział Mechaniczny, Kierunek: Inżynieria biomedyczna, a tematem pracy magisterskiej był *Wpływ modyfikacji powierzchni na odporność korozyjną stali stosowanych na narzędzia chirurgiczne*; Promotor: dr hab. inż. Małgorzata Grądzka-Dahlke, prof. PB

Również na Politechnice Białostockiej, Wydział Mechaniczny uzyskała w 2017 r stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie: Budowa i eksploatacja maszyn, Specjalność: Inżynieria powierzchni. Tytuł pracy doktorskiej: *Wpływ modyfikacji powierzchni wybranych biomateriałów metalicznych na ich charakterystyki tribologiczne i korozyjne*; Promotor: dr hab. inż. Małgorzata Grądzka-Dahlke, prof. PB; Praca doktorska została obroniona z wyróżnieniem.

Dr inż. Magdalena Łepicka po zakończeniu studiów podjęła pracę na Politechnice Białostockiej na Wydziale Mechanicznym, początkowo na stanowisku asystenta, a po uzyskaniu stopnia doktora adiunkta. Na tym stanowisku Habilitantka jest zatrudniona do chwili obecnej. Po uzyskaniu stopnia doktora dr inż. Łepicka odbyła staż w International Iberian Nanotechnology Laboratory (Braga, Portugalia), który trwał od lutego 2018 do lipca 2019.

2. Ocena dorobku naukowego Habilitantki

Habilitantka już od studiów na Politechnice Białostockiej zajmowała się zagadnieniami tribologicznymi, zwłaszcza odniesionymi do powłok przeciwzużyciowych. Interdyscyplinarny charakter prowadzonych prac naukowych umożliwił Habilitantce nawiązanie współpracy z licznymi krajowymi i zagranicznymi ośrodkami badawczymi. Od kilku lat zajmuje się również oceną struktury i właściwości użytkowych proszkowych materiałów kompozytowych.

Zainteresowania naukowe znalazły odzwierciedlenie w projektach badawczych realizowanych pod kierunkiem lub z udziałem Habilitantki. Dr inż. Łepicka była w latach 2018 – 2022 kierownikiem projektu naukowo-badawczego *Preludium 13 pt. Wpływ modyfikacji warstwy powierzchniowej biomateriałów metalicznych na ich właściwości eksploatacyjne* (nr rej. 2017/25/N/ST8/02270). Prace realizowane były we współpracy z Politechniką Lubelską oraz Wyższą Szkołą Ekonomii i Innowacji w Lublinie. W latach 2019-2021 uczestniczyła w międzynarodowym projekcie *MECODIA – Nowoczesne kompozyty o osnowie metalicznej wzmacniane naturalnymi okrzemkami* (nr rej. CORNET 26/3/2019),

W latach 2020-2022 była wykonawcą projektu *Zaawansowane biokompozyty dla gospodarki jutra BIOG-NET* (nr rej. POIR.04.04.00-00-1792/18-00), realizowanego w ramach programu TEAM-NET w konsorcjum składającym się z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu (Lider), Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Politechniki Warszawskiej, Politechniki Białostockiej oraz Uniwersytetu Szczecińskiego.

W ramach stażu podoktorskiego w International Iberian Nanotechnology Laboratory Habilitantka pełniła rolę wykonawcy projektu naukowo-badawczego pt. *SIMPLIFIED: Easy Tooth Abutment* (nr rej. POCI-01-0247-FEDER-017982).

Uczestniczenie w wymienionych wyżej projektach pozwoliło Habilitantce na badania na styku dwóch dyscyplin: inżynierii mechanicznej (tribologia) i inżynierii materiałowej. Habilitantka wykazała się umiejętnością pracy w licznych interdyscyplinarnych zespołach badawczych.

Prace badawcze realizowane przez Habilitantkę pozwoliły na:

- Opublikowanie 34 artykułów w czasopismach naukowych, w tym po uzyskaniu stopnia doktora 25
- Uzyskanie patentu nr P.445328 (2023) pt. *Kompozycja cementu szkło-jonomerowego z substancją bioaktywną do zastosowań stomatologicznych*

Publikacje te są szeroko cytowane.

Liczba cytowań publikacji, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań:

- według bazy Web of Science (WoS): 412/376 (wszystkie/bez autocytowań)
- według bazy Scopus: 466/432 (wszystkie/bez autocytowań)

Informacja o współczynniku Impact Factor:

- sumaryczny współczynnik Impact Factor: 124,595
 - w tym po uzyskaniu stopnia doktora: 117,258

Informacja o indeksie Hirscha:

- według bazy WoS: 9
- według bazy Scopus: 11

Dorobek naukowy Habilitantki oceniam pozytywnie, zwłaszcza w obszarze badań interdyscyplinarnych obejmujących inżynierię mechaniczną i inżynierię materiałową. Przedstawiony dorobek naukowy stanowi logiczny i konsekwentny ciąg tematyczny. W tym miejscu chciałbym podkreślić, że Habilitantka wykazała się umiejętnością pracy w interdyscyplinarnych zespołach, co w mojej ocenie jest szczególnie znaczącą i ważną dla pracownika nauki cechą.

W oparciu o przedstawione informacje aktywność i dorobek dydaktyczny oraz organizacyjny Habilitantki oceniam pozytywnie.

3. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

Habilitantka zaangażowana jest również w działalność dydaktyczną. Przez cały czas pracy na Politechnice Białostockiej prowadzi zajęcia dydaktyczne: wykłady i zajęcia laboratoryjne w języku polskim i angielskim. Przygotowała materiały dydaktyczne do niektórych z tych zajęć, w tym w języku angielskim. Habilitantka jest również promotorem 5 prac magisterskich oraz 4 prac inżynierskich na kierunkach *Mechanika i budowa maszyn* oraz *Inżynieria biomedyczna*.

4. Informacja o współpracy z sektorem gospodarczym

Od 2012 roku Habilitantka aktywnie współpracuje z sektorem gospodarczym. W latach 2012–2013 pracowała w firmie *MEDGAL Sp. z o.o.* Współpraca ta trwała do roku 2017 i obejmowała badania nad poprawą właściwości eksploatacyjnych materiałów stosowanych w implantologii.

Po uzyskaniu stopnia doktora realizowała prace naukowo-badawcze w kooperacji z przedsiębiorstwami krajowymi i zagranicznymi w ramach projektów badawczych, takich jak *MECODIA*

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionej do oceny dokumentacji stwierdzam, że dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny dr inż. Magdaleny Łepickiej jest wystarczający do wymaganego odnośnymi przepisami dorobku, niezbędnego do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych.

IV. Wniosek końcowy

Oceniany dorobek i osiągnięcia naukowe dr inż. Magdaleny Łepickiej spełniają wszystkie wymagania, określone w art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce Biorąc pod uwagę monotematyczny cykl publikacji, ocenę całokształtu dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego uważam, że dr inż. Magdalena Łepicka spełnia wymogi zawarte w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku art. 219, ust. 1, pkt. 1, 2 i 3. **Wnioskuje o dopuszczenie Habilitantki do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego oraz finalnie nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno – technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**



Warsawa, dn. 27.06.2020