

Dr hab. inż. Andrzej Biessikowski, prof. AGH,
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami
Katedra Inżynierii Górniczej i Bezpieczeństwa Pracy
Kontakt: abiess@agh.edu.pl

Kraków, 11.05.2026 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Kingi Janowskiej**

pt.: **„Kompozytowe paliwa raketowe oparte o polimery wysokoenergetyczne”**

(Composite rocket propellants based on energetic polymers)

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo Pani Prof. dr hab. inż. Doroty Neugebauer, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej w Gliwicach z dnia 15.04.2026 roku, dotyczące powierzenia wykonania recenzji przedmiotowej rozprawy doktorskiej

2. Uzasadnienie wyboru tematu

Tematyka rozprawy doktorskiej wpisuje się w aktualny stan wiedzy i odpowiada na jedno z kluczowych wyzwań współczesnych badań nad materiałami wysokoenergetycznymi, jakim jest rozwój bardziej efektywnych, bezpiecznych oraz mniej obciążających środowisko kompozycji paliw raketowych. W ujęciu najwyższego i najbardziej aktualnego poziomu rozwoju technologii, dominującym rozwiązaniem kompozytowych paliw raketowych pozostają układy oparte na klasycznym systemie polibutadienu zakończonego grupami hydroksylowymi/chloranu(VII) amonu HTPB/AP, które, mimo wysokiej wydajności, obarczone są istotnymi ograniczeniami, w szczególności związanymi z emisją szkodliwych produktów spalania zawierających chlor oraz koniecznością stosowania wysokiego udziału utleniacza. W konsekwencji w ostatnich latach obserwuje się wyraźny trend badawczy ukierunkowany na poszukiwanie alternatywnych układów paliwowych, które pozwoliłyby ograniczyć negatywne oddziaływanie środowiskowe przy jednoczesnym zachowaniu wysokich parametrów użytkowych. W tym kontekście szczególnego znaczenia nabiera wykorzystanie azotanu(V) amonu jako utleniacza oraz polimerów wysokoenergetycznych jako lepiszcza, co stanowi jeden z głównych kierunków rozwoju nowoczesnych składów paliw raketowych. Jednakże układy oparte na AN charakteryzują

się niższą reaktywnością oraz gorszymi parametrami spalania w porównaniu do systemów zawierających AP, co sprawia, że ich zastosowanie wymaga dodatkowych modyfikacji strukturalnych i chemicznych. Właśnie ten problem, poprawy właściwości użytkowych paliw na bazie AN przy jednoczesnym zachowaniu ich zalet środowiskowych, stanowi istotną lukę badawczą, którą podejmuje Doktorantka w recenzowanej rozprawie.

Znaczenie podjętej tematyki wynika również z rosnącej roli podejścia materiałowego w projektowaniu paliw rakietowych, polegającego na świadomym kształtowaniu mikrostruktury, składu chemicznego oraz właściwości fizykochemicznych w celu uzyskania pożądanych parametrów spalania. Współczesne badania coraz częściej koncentrują się na integracji różnych strategii modyfikacji, takich jak zastosowanie polimerów wysokoenergetycznych, dodatków katalitycznych czy kontrola porowatości materiału. Podejście to jest zgodne z aktualnym kierunkiem rozwoju dyscypliny, w którym odchodzi się od prostego zastępowania pojedynczych komponentów na rzecz kompleksowego projektowania materiałów funkcjonalnych lub stosowaniu dodatków dwufunkcyjnych. Dodatkowo należy podkreślić, że rozwój „zielonych” paliw rakietowych stanowi obecnie jeden z priorytetowych obszarów badań zarówno w sektorze cywilnym, jak i obronnym. Wymogi regulacyjne oraz rosnąca świadomość ekologiczna wymuszają poszukiwanie rozwiązań ograniczających emisję toksycznych gazów oraz poprawiających bezpieczeństwo użytkowania materiałów wysokoenergetycznych. W tym kontekście badania nad układami na bazie AN oraz polimerami wysokoenergetycznymi mają nie tylko znaczenie poznawcze, ale również istotny potencjał aplikacyjny.

Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe aspekty, tematyka rozprawy jest w pełni zgodna z aktualnym stanem wiedzy i odpowiada na istotne potrzeby rozwojowe w obszarze technologii paliw rakietowych. Podejmowany problem badawczy wpisuje się w główne trendy światowych badań, koncentrujących się na zwiększeniu efektywności, bezpieczeństwa oraz zrównoważonego charakteru materiałów wysokoenergetycznych, co uzasadnia jego wysoką wartość naukową oraz potencjał aplikacyjny uzyskanych wyników badań.

3. Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska, stanowi opracowanie o charakterze publikacyjnym, uzupełnione częścią opisową (autoreferat) pełniącą funkcję przewodnika po uzyskanych wynikach badawczych. Całość pracy obejmuje około 170 stron materiału, z czego zasadnicza część opisowa liczy około 40-46 stron i zawiera uporządkowane wprowadzenie do tematyki, sformułowanie celu i zakresu badań, omówienie stanu wiedzy oraz syntezę wyników uzyskanych w ramach cyklu publikacji. Taki układ pracy jest zgodny z aktualnie przyjmowanym

modelem rozpraw doktorskich w naukach chemicznych, gdzie zasadniczy wkład naukowy prezentowany jest w formie artykułów opublikowanych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, natomiast część opisowa integruje i systematyzuje uzyskane rezultaty.

Rozprawa opiera się na cyklu publikacyjnym obejmującym prace przeglądowe oraz eksperymentalne, opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych o istotnym *współczynniku wpływu* (IF), takich jak *Materials*, *Polymers*, *Molecules* czy *Sustainability*. Łączny dorobek publikacyjny powiązany z rozprawą wskazuje na wysoką aktywność naukową doktorantki oraz jej zdolność do funkcjonowania w międzynarodowym obiegu naukowym. Sumaryczny impact factor publikacji można oszacować na poziomie przekraczającym 20 punktów, natomiast łączna liczba punktów ministerialnych odpowiada wysokiemu poziomowi oceny parametrycznej, z dominacją publikacji punktowanych na poziomie 100 i 140 punktów. Warto podkreślić, że publikacje obejmują zarówno prace przeglądowe, stanowiące podstawę teoretyczną rozprawy, jak i artykuły eksperymentalne, będące bezpośrednim odzwierciedleniem przeprowadzonych badań.

Część opisowa pracy zawiera zestawienie najważniejszych wyników oraz ich interpretację w kontekście aktualnego stanu wiedzy. Obejmuje ona kilkanaście rysunków i tabel ilustrujących kluczowe zależności oraz parametry badanych układów, natomiast publikacje stanowiące podstawę rozprawy zawierają znacznie szerszy materiał ilustracyjny i tabelaryczny, obejmujący szczegółowe wyniki analiz termicznych, strukturalnych oraz użytkowych. Bibliografia pracy jest obszerna i aktualna, obejmując w przeważającej części literaturę anglojęzyczną, w tym liczne publikacje z ostatnich lat, co potwierdza dobre osadzenie pracy w aktualnym nurcie badań nad materiałami wysokoenergetycznymi.

Ocena udziału doktorantki w realizacji badań wskazuje na jej znaczący i rzeczywisty wkład w powstanie prezentowanych wyników. Z przedstawionych informacji wynika, że w publikacjach przeglądowych doktorantka uczestniczyła przede wszystkim w opracowaniu koncepcji artykułów, analizie literatury oraz przygotowaniu manuskryptów, natomiast w pracach eksperymentalnych jej udział obejmował kluczowe etapy procesu badawczego, w tym planowanie metodyki, prowadzenie syntez, przygotowanie kompozycji badawczych, wykonywanie pomiarów oraz opracowanie wyników. Na tej podstawie można oszacować, że udział doktorantki w poszczególnych publikacjach mieści się w przedziale od około 40% do 50%, przy czym w pracach eksperymentalnych osiąga on poziom bliższy górnej granicy tego zakresu. Taki poziom zaangażowania należy uznać za w pełni wystarczający do przypisania autorstwa zasadniczego wkładu naukowego.

Należy również podkreślić, że charakter wykonywanych przez doktorantkę prac, obejmujący zarówno aspekty koncepcyjne, jak i eksperymentalne, wskazuje na jej samodzielność badawczą oraz zdolność do prowadzenia kompleksowych badań w obszarze materiałów wysokoenergetycznych. Jej udział nie ograniczał się do realizacji pojedynczych etapów badań, lecz obejmował cały proces badawczy, od projektowania eksperymentów po interpretację wyników i przygotowanie publikacji naukowych.

4. Ocena merytoryczna pracy

Recenzowana praca jak wskazano w punkcie drugim niniejszej recenzji jest osadzona w aktualnym i istotnym obszarze badań nad materiałami wysokoenergetycznymi, w szczególności w kontekście rozwoju bardziej efektywnych i potencjalnie mniej obciążających środowisko kompozycji stałych paliw raketowych. Szczegółową ocenę pracy przedstawiono poniżej analizując treść merytoryczną pracy (hipotezę badawczą oraz metodykę, oraz formę edycyjną).

4.1. Hipoteza badawcza

Doktorantka formułuje główną hipotezę jako możliwość poprawy parametrów użytkowych kompozytowych paliw raketowych zawierających azotan(V) amonu poprzez zastosowanie polimerów wysokoenergetycznych oraz dodatkowych modyfikacji strukturalnych i katalitycznych. Hipoteza ta jest trafna i dobrze osadzona w aktualnym stanie wiedzy, który wskazuje na ograniczenia klasycznych układów HTPB/AP oraz rosnące zainteresowanie alternatywami opartymi o AN i lepiszcza energetyczne. Warto podkreślić, że hipoteza nie ma charakteru trywialnego, dotyczy układu, który z definicji jest mniej reaktywny (AN zamiast AP), a więc wymaga wieloaspektowej optymalizacji. Tym samym doktorantka podejmuje realny problem naukowy, a nie jedynie wariantowanie znanych rozwiązań.

Należy jednak zauważyć, że hipoteza została rozbita na szereg pytań badawczych, które obejmują różne aspekty, od wpływu rodzaju lepiszcza, przez dodatki katalityczne, aż po strukturę porowatą. Taki szeroki zakres może świadczyć o kompleksowym podejściu, ale również może rozmywać główną linię badawczą. Powoduje to brak wyraźnego hierarchizowania hipotez oraz wskazania, które z nich są kluczowe dla rozwiązania problemu naukowego, a które mają charakter pomocniczy. Niemniej jednak należy uznać, że przyjęty kierunek badawczy jest uzasadniony i zgodny z aktualnymi trendami w dziedzinie naukowej.

4.2. Metodyka badawcza

Do rozwiązania założonej hipotezy badawczej Doktorantka prawidłowo dobrała techniki pomiarowe oraz zakres realizowanych badań. Zastosowanie metod takich jak DSC, TG, XRD, SEM/EDS czy analiza liniowej prędkości spalania pozwala na kompleksową

charakterystykę zarówno właściwości termicznych, jak i strukturalnych oraz użytkowych badanych kompozycji wysokoenergetycznych. Szczególnie pozytywnie należy ocenić powiązanie metod eksperymentalnych z analizą parametrów użytkowych, co umożliwia interpretację wyników w kontekście aplikacyjnym. Zastosowanie równania Kissingera do wyznaczania pozornej energii aktywacji jest standardowym podejściem i jego wybór został uzasadniony przez Doktorantkę, w tym z zaznaczeniem jego ograniczeń wynikających ze złożonego mechanizmu reakcji. Jednakże, w ocenianej rozprawie energia aktywacji traktowana jest jako parametr porównawczy, co Doktorantka słusznie zaznacza, lecz mimo to w dalszej części pracy pełni ona istotną rolę interpretacyjną i z powyższego względu zasadnym staje się szczegółowe doprecyzowanie doboru tej metody (Uwagi dyskusyjne, pytanie 1). W innym przypadku może to prowadzić do nadinterpretacji różnic pomiędzy poszczególnymi kompozycjami, szczególnie w kontekście wieloetapowych i nakładających się procesów rozkładu.

Przeprowadzona, analiza porowatości oparta na obrazach SEM, bez pełnej walidacji metodą adsorpcyjną, stanowi rozwiązanie kompromisowe, jednak w mojej ocenie ograniczenia wynikające z zastosowania tej techniki nie zostały należycie wyeksponowane w pracy.

Należy jednak podkreślić, że wartość pracy, a tym samym obranej metodyki wzmocnione jest poprzez powiązanie jej z publikacjami naukowymi, co świadczy o walidacji uzyskanych wyników w środowisku naukowym.

5. Ocena edycyjna pracy

Rozprawa jest logicznie uporządkowana i zgodna z konwencją prac doktorskich. Układ rozdziałów jest przejrzysty, a narracja prowadzona konsekwentnie od podstaw teoretycznych do wyników i wniosków. Styl językowy jest poprawny, techniczny i adekwatny do charakteru pracy. Doktorantka posługuje się terminologią naukową w sposób precyzyjny, a opisy metod i wyników są zrozumiałe i spójne. Należy jednak zauważyć dysproporcję pomiędzy częścią opisową a badawczą. Warstwa teoretyczna i przeglądowa jest stosunkowo rozbudowana i dobrze osadzona w literaturze, natomiast dyskusja wyników, choć obszerna, miejscami przyjmuje formę raportową, z tendencją do koncentrowania się na wynikach ilościowych, przy jednoczesnym ograniczonym rozwinięciu dyskusji mechanizmów np. fizykochemicznych. W efekcie część wniosków ma charakter bardziej empiryczny niż mechanistyczny.

6. Uwagi dyskusyjne i wątpliwości

Po przeanalizowaniu przesłanego do recenzji materiału proszę o doprecyzowanie:

1. W jaki sposób Doktorantka uzasadnia traktowanie pozornej energii aktywacji, wyznaczonej metodą Kissingera, jako wskaźnika „łatwości rozkładu” w układach o

złożonym, wieloetapowym mechanizmie reakcji oraz czy rozważano zastosowanie alternatywnych metod analizy kinetycznej, takich jak podejścia izokonwersyjne (np. metody Friedmana lub Ozawy-Flynn-Walla), które mogłyby lepiej odwzorować przebieg procesów zachodzących w badanych kompozycjach?

2. W jakim stopniu parametry wyznaczone w warunkach laboratoryjnych, takie jak np. liniowa prędkość spalania czy oszacowana moc cieplna, mogą być ekstrapolowane do warunków rzeczywistych (efekt skali)?
3. Jakie są główne ograniczenia estymacji porowatości na podstawie obrazów SEM i w jaki sposób mogą one wpływać na uzyskane wyniki?
4. W jaki sposób różnica pomiędzy porowatością powierzchniową a objętościową może wpływać na interpretację wyników w kontekście procesów spalania i transportu masy oraz ciepła w badanych kompozycjach?

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedłożona rozprawa doktorska stanowi rzetelne i dobrze przygotowane opracowanie naukowe, które spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w dyscyplinie nauk chemicznych. Doktorantka podejmuje istotny i aktualny problem badawczy, stosuje adekwatne metody badawcze oraz prezentuje wyniki mające znaczenie zarówno poznawcze, jak i potencjalnie aplikacyjne. Dodatkowo, dowiodła możliwości samodzielnego formułowania problemu badawczego, jego rozwiązania w tym projektowania badań naukowych.

Oryginalność recenzowanej rozprawy polega na kompleksowym podejściu do modyfikacji układów GAP/AN oraz próbie integracji kilku strategii poprawy parametrów, obejmujących zarówno skład chemiczny, jak i strukturę materiału oraz dodatki funkcjonalne. Szczególnie wartościowe jest wykazanie, że zastosowanie polimeru wysokoenergetycznego może kompensować niższą reaktywność AN, co ma znaczenie w kontekście poszukiwania alternatyw dla układów zawierających AP.

Wskazane w recenzji uwagi dotyczące warstwy interpretacyjnej (część edycyjna) mają charakter rozwojowy i mogą stanowić podstawę do dalszego doskonalenia zarówno publikacji naukowych Doktorantki, jak i przyszłych badań w tym obszarze.

W mojej opinii, przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Kingi Janowskiej pt.: „Kompozytowe paliwa rakietowe oparte o polimery wysokoenergetyczne” (*Composite rocket propellants based on energetic polymers*), spełnia wszystkie warunki i wymagania w rozumieniu Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571.) co pozwala mi wnioskować o przyjęcie rozprawy doktorskiej przez

Radę Naukową Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej w Gliwicach i dopuszczenie Doktorantki do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

*Podpisano odręcznie przez dr. hab. inż. Andrzeja
Biessikirskiego, prof. AGH*

Dr hab. inż. Andrzej Biessikirski, prof. AGH

