

Prof. dr hab. inż. Jolanta Biegańska
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
Wydział Energetyki i Paliw
Katedra Energetyki Wodorowej
e-mail: biega@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*”

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Agnieszka Stolarczyk, profesor Politechniki Śląskiej, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. Tomasz Jarosz, prof. PŚ.

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Pismo Pani Prof. dr hab. inż. Doroty Neugebauer, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej w Gliwicach z dnia 15 kwietnia 2026 roku, dotyczące wykonania recenzji wspomnianej rozprawy.

2. Celowość podjęcia tematu

Podjęcie tematu „Kompozytowe paliwa raketowe oparte o polimery wysokoenergetyczne” jest ważne i celowe z uwagi na wyzwania aktualnego pola walki (poprawa charakterystyk balistycznych – zwiększenie osiągnięć, stabilność) oraz wymogi ochrony środowiska (redukcja toksycznych gazów).

Klasyczne paliwa heterogeniczne oparte o polimery nieenergetyczne – polibutadien zakończony grupami hydroksylowymi (HTPB) i utleniacz – chloran(VII) amonu (AP), nie spełniają ww. wymagań. HTPB obniża charakterystykę efektywności wybuchowej a AP emituje chlorowódz podczas spalania paliwa w trakcie pracy silnika.

Opracowanie stałych paliw raketowych (SRP) opartych o polimery wysokoenergetyczne (ugrupowania zawierające heteroatomy poprawiają parametry użytkowe) i zastosowanie azotanu(V) amonu (AN) jako utleniacza (minimalizuje szkodliwe oddziaływanie środowiskowe produktów gazowych), spełnia założone wymagania.

Takie możliwości, zdaniem Doktorantki, zapewnia polimer azydku glicydylu (poli(azydek glicydylu)) (GAP) jako lepsze wysokoenergetyczne i nitroguanidyna (NQ) (składnik

wysokoenergetyczny i jednocześnie substancja gazotwórcza) – kompatybilna z AN. Utleniacz ten z uwagi na mniejszą reaktywność wymaga zastosowania substancji dodatkowej.

Doktorantka sformułowała hipotezę badawczą i postawiła pytania problemów badawczych, naświetlając tym samym cel rozprawy.

Główna hipoteza pracy opierała się na stwierdzeniu, że istnieje szereg możliwych do zaimplementowania modyfikacji, wpływających na zwiększenie parametrów użytkowych stałych paliw raketowych zawierających AN oraz GAP jako lepiszcze.

Otrzymanie paliw o wspomnianych wymaganiach stanowiło dla Doktorantki wyzwanie do przeprowadzenia wielu modyfikowanych formułacji i szeregu analiz określających wpływ proponowanych dodatków na morfologię i parametry użytkowe kompozycji.

Doktorantka naświetliła zakres badawczy rozprawy. Zadania eksperymentalne obejmowały:

1. Ocenę polimerów wysokoenergetycznych, zastosowanych w paliwie raketowym, pod kątem poprawy parametrów użytkowych przy równoczesnym utrzymaniu parametrów bezpieczeństwa.
2. Analizę wpływu użycia AN jako utleniacza oraz GAP jako lepiszcza wysokoenergetycznego na parametry użytkowe SRP.
3. Określenie wpływu dodatku tlenków metali (CuO, Cu₂O, ZnO oraz Fe₂O₃) na rozkład utleniacza i parametry użytkowe SRP.
4. Analizę możliwości sterowania stabilnością spalania SRP.
5. Ocenę stopnia oddziaływania na mikrostrukturę i rozkład SRP przy zastosowaniu poroforów.
6. Określenie możliwości uzyskania formułacji SRP o zwiększonej powierzchni kontaktu między cząsteczkami stałymi i ewentualnego wpływu na właściwości przy wykorzystaniu w warunkach produkcyjnych.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi cykl sześciu publikacji (prace przeglądowe i eksperymentalne) o łącznej liczbie 170 stron. Zawiera również 46-stronicowy opis, będący przewodnikiem do opublikowanych wyników badań.

W części opisowej zamieszczono 11 rysunków i 12 tabel. Publikacje zawierają (łącznie z Supplementary information) 113 rysunków i 48 tabel. Bibliografia obejmuje 351 pozycji (55 zawiera część opisowa) – są to opracowania obcojęzyczne, w większości, z ostatnich lat.

Nadmienić należy, że łączny IF publikowanych materiałów to 24,048 a suma uzyskanych punktów ministerialnych czasopism wynosi 760 (w tym 4 prace o punktacji 140 pkt. i 2 za 100 pkt.). We wszystkich publikacjach Doktorantka figuruje jako pierwszy współautor. W przypadku dwóch publikacji wkład procentowy wynosi 50%, w trzech 45% a w jednej jest na poziomie 40%.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Metodyka pracy

Doktorantka przedstawiła charakterystykę paliw raketowych oraz szczegółowo przeanalizowała, w oparciu o dane literaturowe, właściwości paliw zawierających polimery wysokoenergetyczne będące przedmiotem niniejszej rozprawy. Zwróciła uwagę na przewagę wielu ich cech nad paliwami nieenergetycznymi, dotychczas stosowanymi. Zauważyła potrzebę poznania właściwości modyfikowanych SRP zawierających lepsze wysokoenergetyczne oraz AN jako utleniacz. Przygotowywano dwa rodzaje formulacji – porowatą i nieporowatą.

W celu zbadania ich właściwości przeprowadzono szereg analiz instrumentalnych:

- pomiar bezpieczeństwa w oparciu o ocenę:
 - wrażliwości na tarcie wg normy EN 13631-3:2005,
 - wrażliwości na uderzenie wg normy EN 13631-4:2002.
- badania parametrów wysokoenergetycznych:
 - oznaczanie temperatury zapłonu/wybuchu za pomocą automatycznego testera temperatury wybuchu 402 (OZM Research, Bliznovice, Czechy),
 - wyznaczanie liniowej prędkości spalania metodą pomiaru rezystancji elektrycznej w układzie eksperymentalnym umożliwiającym pomiar czasu między zmianami stanu (przewodzenie/nieprzewodzenie),
 - określenie charakterystyki termicznej metodą DSC z użyciem analizatora termicznego Netzsch STA 449 F3 Jupiter (ETZSCH-Gerätebau GmbH, Selb, Niemcy),
 - oznaczanie ciepła spalania próbki paliwa w bombie kalorymetrycznej o pojemności 40 cm³ w warunkach próżni,
 - określenie reakcji energetycznej zachodzącej w paliwie z wykorzystaniem systemu DTA/TG MOM Q 1500D Paulik–Paulik–Erdey (MOM, Budapeszt, Węgry).
- badania strukturalne z wykorzystaniem:
 - skaningowego mikroskopu elektronowego FEI Inspect S50 (Hillsboro, OR, USA) wyposażonego w detektor Octane Elect Plus EDS (EDAX Inc., Mahwah, NJ, USA) i oprogramowanie Apex Advanced (wersja 3.8.6.3964),
 - dyfrakcji rentgenowskiej (XRD) z użyciem detektora jednowymiarowego (Rigaku D/teX Ultra 250),
 - spektrometru Ramana InVia firmy Renishaw (Gloucestershire, Wielka Brytania) wyposażonego w mikroskop DM2500 firmy Leica (Wetzlar, Niemcy).

Zastosowane metody badawcze są adekwatne do zakresu poszczególnych zadań. Dla uwiarygodnienia wyników badań wykonywano kilkukrotne powtórzenia analiz, prezentując otrzymane wyniki w formie tabel i rysunków (wykresy, obrazy mikroskopowe, itp.).

Zagadnienia naukowe rozwiązane przez Doktorantkę

Praca przeglądowa jest ważną częścią rozprawy, bo ukierunkowuje na badania. Doktorantka dokonała przeglądu literatury w zakresie modyfikowanych formułacji paliw zawierających AN i paliw dotychczas stosowanych z udziałem AP, co pozwoliło na wyciągnięcie konstruktywnych wniosków i przeprowadzenie prac eksperymentalnych.

Prace eksperymentalne, których wyniki zamieszczono w kolejnych publikacjach to najważniejsza część rozprawy. Oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego jest wniesiony wkład w rozwój kompozytowych stałych paliw raketowych na bazie polimeru GAP z wykorzystaniem AN jako utleniacza.

Doktorantka opracowała metodykę badań, brała udział w wykonywaniu syntez, wytworzeniu formułacji paliw raketowych, przeprowadzeniu stosownych badań z zakresu oceny bezpieczeństwa, parametrów wysokoenergetycznych oraz badań strukturalnych. Jej udział przedkłada się też na wykonanie wymaganych obliczeń, opracowanie wyników badań i przygotowanie manuskryptów. Udział Doktorantki w tych pracach dowodzi bardzo dużej samodzielności i dojrzałości badawczej. Posiada wysokie umiejętności prowadzenia prac naukowych.

Ocena znajomości przedmiotu zagadnienia przez Doktorantkę

W rozprawie (w części opisowej) wykazano się przeglądem literatury obejmującym 55 pozycji – publikacje zagraniczne. Dotyczą kompozytowych paliw raketowych, analizy ich składników i prowadzonych badań z tego zakresu.

Doktorantka charakteryzuje szczegółowo, przedstawiane w literaturze, informacje z zakresu stosowanych polimerów nieenergetycznych zauważając, że zastosowanie polimerów wysokoenergetycznych poprawia parametry SRP.

Zwraca uwagę na istotny wpływ modyfikacji składu jakościowego i ilościowego formułacji, oraz pokazuje, że oddziałując na inne składowe można uzyskać układy AN/GAP o zwiększonych parametrach użytkowych względem formułacji niemodyfikowanych.

W zamieszczonych artykułach przytacza wyniki badań, wykazując ich praktyczne znaczenie. Wyciąga rzeczowe wnioski i pokazuje, że przeprowadzone badania umożliwiły weryfikację stawianej hipotezy badawczej.

Uważam, że recenzowana rozprawa jest dowodem na eksperymentalne umiejętności Doktorantki i znajomość tematyki, w którą się zaangażowała.

5. Uwagi dyskusyjne i wątpliwości

Po przeczytaniu ocenianej rozprawy doktorskiej nasuwają mi się pewne pytania.

Omówiła Pani i przedstawiła możliwość wytworzenia paliw kompozytowych w oparciu o składniki wysokoenergetyczne. Badania prowadzono w warunkach laboratoryjnych.

1. Jak wpłynie powiększenie skali (zastosowanie układu AN/GAP w produkcji docelowym) na strukturę morfologiczną kompozytowego paliwa?
2. Czy próbowała Pani ocenić (porównać) koszty sporządzenia kompozycji SRP w odniesieniu do produkcji paliw klasycznych?

6. Uwagi szczegółowe i redakcyjne

Rozprawa została starannie zredagowana przez Doktorantkę. Drobne błędy typu redakcyjnego, których jest niewiele, dotyczą tzw. literówek i nie wpływają na ocenę.

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

Podjęcie tematu badawczego z zakresu kompozytowych paliw raketowych i założenia rozprawy doktorskiej uważam za celowe, prawidłowo uzasadnione. Doktorantka wykazuje bardzo dobrą wiedzę na ten temat. Oryginalnym rozwiązaniem jest opracowanie polimeru (GAP) jako lepiszcza wysokoenergetycznego i (NQ) jako składnika wysokoenergetycznego oraz utleniacza (AN) do zastosowania w kompozycji paliwa i możliwość stymulowania parametrów termicznych oraz użytkowych przez modyfikację struktury i wprowadzanie dodatków katalitycznych.

Dowodła umiejętności samodzielnego formułowania problemów naukowych oraz prowadzenia badań dla ich rozwiązania wraz z analizą i prezentowaniem wyników.

W moim przekonaniu, przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Kingi JANOWSKIEJ pt.: „Kompozytowe paliwa raketowe oparte o polimery wysokoenergetyczne” (Composite rocket propellants based on energetic polymers), przygotowana pod opieką promotora – dr hab. inż. Agnieszki Stolarczyk, prof. PŚ i promotora pomocniczego dr hab. inż. Tomasza Jarosza, prof. PŚ 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).

Wnioskuje o przyjęcie rozprawy przez Radę Naukową Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Śląskiej w Gliwicach i dopuszczenie jej Autorki do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

*Podpisano odręcznie przez prof. dr
hab. inż. Jolanę Biegańską*