

prof. dr hab. inż. Janusz Zmywaczyk  
Zakład Aerodynamiki i Termodynamiki  
Wojskowa Akademia Techniczna  
e-mail: [janusz.zmywaczyk@wat.edu.pl](mailto:janusz.zmywaczyk@wat.edu.pl)

Warszawa, dnia 3 sierpnia 2023 r.

## RECENZJA ponowna

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Bartłomieja Pawłowskiego**  
pt. "*Opracowanie nowej generacji konkurencyjnych produktów termoprzewodzących*"

Promotor: dr hab. inż. Zbigniew Buliński, prof. uczelni  
Opiekun pomocniczy: mgr inż. Olgierd Jeremiasz, MBA  
Politechnika Śląska

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

Praca doktorska reprezentuje dyscyplinę: *Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.*

Podstawą opracowania recenzji jest pismo nr RIE-BD.512.52.2023 z dnia 17 lipca 2023 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina z prośbą o ponowną ocenę rozprawy doktorskiej.

Szczegółową analizę treści rozprawy doktorskiej mgr. inż. Bartłomieja Pawłowskiego pt. "*Opracowanie nowej generacji konkurencyjnych produktów termoprzewodzących*" przedstawiłem w pierwszej recenzji datowanej na dzień 5 stycznia 2023 r. i z tego powodu nie będę jej tutaj przytaczał w całości, a jedynie odniosę się do zauważonych zmian. Po zapoznaniu się z poprawioną wersją rozprawy doktorskiej pod kątem moich uwag krytycznych i szczegółowych, które wymieniłem w punkcie czwartym poprzedniej recenzji, a zwłaszcza z naniesionymi przez Doktoranta poprawkami oraz z istotnym, z naukowego punktu widzenia, uzupełnieniem treści rozprawy, mogę stwierdzić, że:

1. Dodano 6-stronicowy załącznik F, w którym zdefiniowano niepewności pomiarowe oraz podano bądź wyprowadzono wzory dla następujących wielkości fizycznych rozważanych kompozycji (współczynnik lepkości, moduł Younga, gęstość, ciepło właściwe, dyfuzyjność cieplna, współczynnik przewodzenia ciepła, cieplny opór kontaktowy, rezystywność). Podane w tym załączniku wzory służące wyznaczeniu niepewności pomiarowych nie budzą wątpliwości, a obliczone na ich podstawie wartości liczbowe zostały uwzględnione w tabelach: 2 (lepkość dynamiczna), 3 (moduł Younga), 12 (gęstość), 22 (ciepło właściwe), 23 (dyfuzyjność cieplna), 26 (przewodność cieplna), 28 (kontaktowy opór cieplny), 30 (rezystywność).
2. Dokonano walidacji wyników badań z użyciem własnych procedur i własnych stanowisk pomiarowych do badań:
  - a) ciepła właściwego – za pomocą urządzenia NETZSCH STA 409 PC (TG/DSC) w odniesieniu do kauczuku silikonowego RTV-2 (względna różnica wartości ok. 3,5%);



b) dyfuzyjności cieplnej przy użyciu próbki wykonanej z polimetakrylanu metylu (PMMA), którego parametry termofizyczne są znane z literatury, i wykorzystaniu własnego stanowiska pomiarowego (względna różnica wartości ok. 10%).

W tym miejscu warto zwrócić uwagę na podane w tabeli 23 obliczone niepewności dyfuzyjności cieplnej badanych kompozycji. W najgorszym przypadku dla kompozytu G 60% wynosi ona  $u_a=0,051 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , co przy założeniu nawet  $3u_a$ -krotnej odchyłki wyniku pomiaru z  $4,29 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  do  $4,14 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  oznacza względną różnicę wartości na poziomie 3,6%, a nie jak w przypadku PMMA na poziomie 10%. Prosiłbym Doktoranta o ustosunkowanie się do tego spostrzeżenia.

3. Doktorant w poprawionej wersji pracy pozostawił bez zmian napotkane przeze mnie błędy gramatyczne, ortograficzne, nazewnictwa czy też niezbyt poprawnego sformułowania zdań. Wymienić tutaj należy:
- niepoprawną konstrukcją gramatyczną zdania : str. 5<sup>11</sup> – ‘Kompozyt bazuje’ zamiast ‘kompozyt bazuje’, str. 11<sup>17,21</sup>, ‘Zjawisko to występuje’, ‘zamiast ‘Zjawisko to występuje’, str. 12<sup>6, 12</sup> materiał pracuje’ zamiast ‘materiał pracuje’, str. 16<sub>1</sub>, ‘Xu B. wykorzystał odpowiednio ułożono kolejne warstwy grafitu’, zamiast ‘Xu B. wykorzystał odpowiednio ułożone kolejne warstwy grafitu’, str. 58<sub>10</sub>, ‘ucieraka moździerzowe’, zamiast ‘ucieraka moździerzowego’, str. 62 ‘homogenizację mechaniczną’ zamiast ‘homogenizację mechaniczną’, str. 79<sup>3</sup>, ‘na podstawie wykresy dystrybuanty’, zamiast ‘na podstawie wykresu dystrybuanty’, str. 95<sup>12</sup> ‘zwiększyć swoją objętość’, zamiast ‘zwiększyć swoją objętość’, str. 99<sub>8</sub>, 104<sup>14</sup>, ‘Starzenie termicznej’, zamiast ‘Starzenie termiczne’, str. 103<sup>15</sup>, jest ‘Stosując zmodyfikowana wewnętrzną normę’, zamiast ‘Stosując zmodyfikowaną wewnętrzną normę’, str. 103<sub>12</sub>, ‘zakresu temperaturowe’, zamiast ‘zakresu temperatury’, str. 106<sup>4</sup>, ‘ilości ciepła potrzeba ciała’, zamiast ‘ilość ciepła jaką należy dostarczyć ciała’, str. 108<sup>3</sup>, ‘Próbki miały postać walcy’ zamiast ‘Próbki miały postać walców’, str. 113<sub>16</sub>, jest ‘Próbki miały kształt walcowaty’, zamiast ‘Próbki miały kształt walca’, str. 145<sup>1</sup>, ‘dla modułu oparty o aktualne rozwiązania’, zamiast ‘dla modułu opartego o aktualne rozwiązania’
  - błędy pisowni – str. 5<sub>9</sub> i wielu innych miejscach oznaczenie miana przewodności cieplnej w postaci [W/mK] jest niepoprawne gdyż może być ono odczytane jako Wat na milikelwin. Poprawnie należało podać [W/(m·K)], str. 42<sup>4</sup>, ‘mikrometryczne’ zamiast ‘mikrometryczne’, str. 63<sub>15</sub>, ‘homogenizacja mechaniczna dwu etapowa’, zamiast ‘homogenizacja mechaniczna dwuetapowa’, str. 67, rys. 31, jest ‘Czas [s]’, zamiast ‘Czas [s]’
  - błędy nazewnictwa - str. 13<sup>1</sup>, ‘większą ilość elementów’, zamiast ‘większą liczbę elementów’, str. 17<sup>5</sup>, ‘z wykorzystaniem metody LFA’ zamiast ‘z wykorzystaniem metody impulsowej’, str. 123<sup>11</sup>, ‘pomiar decyzyjności termicznej kompozycji’ zamiast ‘pomiar dyfuzyjności cieplnej kompozycji’,
  - sformułowanie zdania - str. 129<sub>6</sub>, ‘wskazania termopar wskazują na’, zamiast ‘odczyty z termoelementów wskazują na’

**Wymienione powyżej błędy językowe powinny być poprawione przed skierowaniem rozprawy doktorskiej do ponownej recenzji, bowiem wymaga się od tego typu opracowań naukowych nie tylko poprawności merytorycznej ale także i językowej. Tym, niemniej zauważone błędy językowe nie mają istotnego wpływu na wysoką ocenę merytoryczną przedłożonej mi do ponownej recenzji rozprawy doktorskiej.**

4. Doktorant pozostawił w niezmienionej postaci tezy pracy w postaci:

*Stworzenie kompozytu (TIM) o satysfakcjonujących właściwościach termicznych (przewyższających właściwości matrycy), mechanicznych oraz elektrycznych (izolatory).*

*Stworzenie kompozytu odpornego na działanie podstawowych rozpuszczalników oraz warunków atmosferycznych.*

*Stworzenie kompozytu bazującego na materiałach będących w posiadaniu partnera przemysłowego. Materiały te nie powinny znajdować zastosowania w innych rozwiązaniach oferowanych przez partnera, bądź nie stanowić dodatkowego obciążenia finansowego, a ich powtórne wykorzystanie powinno być pożądane z punktu widzenia ekologicznego i ekonomicznego.*

*Stworzenie kompozytu z wykorzystaniem infrastruktury będącej na wyposażeniu partnera przemysłowego. Metodyka tworzenia kompozytu powinna pozwolić na skalowanie procesów produkcyjnych z wykorzystaniem infrastruktury dostępnej partnerowi.*

które można uznać za zadania cząstkowe niezbędne do osiągnięcia założonego głównego celu pracy w postaci: „Opracowanie konkurencyjnego materiału termoprzewodzącego, który w swym składzie wykorzysta materiały dostarczone przez partnera przemysłowego stanowiące jego odpady poprodukcyjne”.

Po zapoznaniu się z wynikami badań zaproponowałem w pierwszej recenzji sformułowanie tezy pracy w postaci:

*Dodanie srebra w postaci nanoproszku w otoczce z polimeru naturalnego oraz mikrometrycznego proszku srebra o budowie płatkowej w sumarycznej ilości wagowej 50% do kauczuku silikonowego RTV-2 traktowanego jako podłoże pozwala uzyskać kompozyt termoprzewodzący o satysfakcjonujących właściwościach termicznych (przewyższających właściwości matrycy), mechanicznych oraz elektrycznych, który jest odporny na działanie podstawowych rozpuszczalników oraz warunków atmosferycznych.*

W tym miejscu nasuwa się pytanie czym kierował się Doktorant formułując tezy swojej rozprawy doktorskiej.

5. Na dzień 3 sierpnia 2023 r. w bazie SCOPUS można odnotować pozytywne zmiany wskaźników liczbowych oceniających pracę twórczą Doktoranta. Dotyczą one zwiększenia z 4 do 5 współautorskich publikacji, wzrostu z 12 do 19 liczby cytowań (z wyłączeniem autocytowań), oraz powiększenia z 2 do 3 wskaźnika Hirscha. Wskaźniki te świadczą o zachowaniu aktywności naukowej Doktoranta.
6. W rozdziale 15 zatytułowanym Literatura, zwiększono liczbę cytowanych w pracy publikacji z 73 do 76, przy czym, dodano 7 nowych pozycji dotyczących głównie badań PMMA i wykreślono 4 stare.

**Podsumowując dokonane przez Doktoranta zmiany w poprawionej wersji rozprawy doktorskiej mogą stwierdzić, że praca znacząco zyskała na swej wartości naukowej w wyniku przeprowadzonych testów walidacyjnych własnych procedur badawczych z wykorzystaniem własnych stanowisk pomiarowych i wyznaczeniu niepewności**

**mierzonych wielkości fizycznych, natomiast strona edycyjna pracy w odniesieniu do poprawności językowej budzi nadal zastrzeżenia.**

### **Podsumowanie i wniosek końcowy**

Przedstawiona do ponownej recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Bartłomieja Pawłowskiego stanowi wartościowe opracowanie dotyczące wdrożenia do produkcji nowej generacji kompozytu termoprzewodzącego o właściwościach elektroizolacyjnych, przy możliwie szerokim wykorzystaniu odpadów poprodukcyjnych i infrastruktury badawczo-pomiarowej partnera przemysłowego. Doktorant wykonał tytaniczną pracę badawczą, posiadał w dużym stopniu umiejętność prowadzenia badań naukowych wyrażający się dostrzeżeniem i sformułowaniem problemu naukowego oraz przedstawieniem sposobu jego rozwiązania oraz poszerzył w znacznym stopniu swoją wiedzę w zakresie wymiany ciepła, reologii oraz metrologii pomiarów wielkości cieplnych, mechanicznych i elektrycznych. Uważam, że niezależnie od napotkanych błędów językowych, krytycznych komentarzy i uwag wyniki badań przedstawione w tej pracy są bardzo wartościowe.

**W moim przekonaniu recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Bartłomieja Pawłowskiego pt. „Opracowanie nowej generacji konkurencyjnych produktów termoprzewodzących” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 186, ust.1 i art. 187, ust. 1-4 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U z 2021 r., poz. 478) i wnoszę do Rady Dyscypliny Naukowej *Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka* o dopuszczenie Doktoranta mgr. inż. Bartłomieja Pawłowskiego do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.**

Janusz Zmyrczyk