

Bydgoszcz, 31.10.2023 r.

Dr hab. inż. Krzysztof Moraczewski, prof. UKW
Wydział Inżynierii Materiałowej
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
ul. Chodkiewicza 30
85-065 Bydgoszcz

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

pt. „Wpływ modyfikowanego grafenu na strukturę i właściwości nanokompozytów na osnowie poli(chlorku winylu)”

Autor rozprawy: mgr inż. Sławomir Wilczewski

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Jolanta Tomaszewska, prof. PBŚ

Promotor pomocniczy: dr inż. Katarzyna Skórczewska

Dziedzina: Nauki ścisłe i przyrodnicze

Dyscyplina: Nauki chemiczne

Podstawy opracowania recenzji:

- Uchwała Senatu Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich nr 5/484 z dnia 27 września 2023 r. wraz z pismem 1/RNE.520.8.2023 z dnia 13 października 2023 r. od Przewodniczącego Rady Naukowej dyscypliny nauki chemiczne dr hab. Przemysława Kosobuckiego, prof. PBŚ. o wyznaczeniu na Recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora.
- Rozprawa w formie zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych w dyscyplinie Nauki chemiczne pt. „Wpływ modyfikowanego grafenu na strukturę i właściwości nanokompozytów na osnowie poli(chlorku winylu)”

Informuję, że tematyka recenzowanej rozprawy jest zgodna z obszarem moich zainteresowań naukowych. Oświadczam jednocześnie, że nie prowadziłem i nie prowadzę z Doktorantem żadnych wspólnych badań naukowych oraz że nie jesteśmy wspólnie autorami jakiegokolwiek publikacji naukowej.

1. WSTĘP

Nanokompozyty polimerowe to nowoczesne materiały inżynierskie, które charakteryzują się unikatowymi właściwościami chemicznymi i fizycznymi, a ich parametry użytkowe stanowią ciekawą alternatywę dla klasycznych materiałów polimerowych. Szczególne cechy nanonapełniaczy występujących w tych kompozytach nadają uzyskiwanym materiałom wyższą odpornością termiczną, lepsze właściwości wytrzymałościowe oraz mniejszą przepuszczalnością gazów i pary wodnej niż tradycyjne polimery. Właściwości te sprawiają, że nanokompozyty polimerowe są niezwykle pożądanymi materiałami znajdującymi coraz szersze zastosowanie w nauce oraz różnych gałęziach przemysłu. Wykorzystywane są między innymi do konstrukcji wielofunkcyjnych opakowań, syntezy wysoce odpornych na czynniki mechaniczne powłok, a także w przemyśle motoryzacyjnym i elektrotechnicznym.

Zakres recenzowanej pracy doktorskiej i jej tematyka obejmuje zagadnienia związane z otrzymywaniem nanokompozytów metodą wylewania z roztworu. Zastosowaną przez Doktoranta osnową otrzymywanych nanokompozytów był niemodyfikowany suspensyjny poli(chlorek winylu) (PVC). Napełniaczem był natomiast grafen o scharakteryzowanych parametrach struktury. Zarówno zastosowana przez Doktoranta osnowa polimerowa, jak i napełniacz, to materiały, które są przedmiotem intensywnych prac badawczych prowadzonych w wielu ośrodkach naukowych na całym świecie.

Polichlorek winylu to polimer należący do grupy polimerów winylowych. PVC ma wszechstronne zastosowanie, a popyt na jego produkcję z roku na rok notuje coraz większy wzrost. Ze względu na swoje właściwości PVC jest wykorzystywany do produkcji opakowań do żywności i kosmetyków, profili okiennych i drzwiowych, rur wodociągowych i kanalizacyjnych, izolacji kabli, rynien, mat dźwiękochłonnych oraz wykładzin podłogowych, a także bardziej specjalistycznych zastosowań m.in. w medycynie. Grafen to jedna z odmian alotropowych węgla. Charakteryzuje się płaską strukturą, która przez specyficzne połączenie poszczególnych atomów przypomina plaster miodu. Materiał ten cieszy się dużym zainteresowaniem głównie ze względu na szereg przydatnych właściwości. W szczególności wyróżnia go względnie duża twardość, niska gęstość, a także przewodnictwo cieplne oraz elektryczne. Grafen wydaje się jednym z najbardziej przyszłościowych materiałów o szerokim zastosowaniu w sferze nowych technologii. Pomimo szerokiego zainteresowania poli(chlorkiem winylu) oraz grafenem nadal wiele obszarów związanych z tymi materiałami wymaga dalszych badań. W obszarze zainteresowania naukowców znajdują się zagadnienia związane z otrzymywaniem nanokompozytów i ich przetwórstwem w celu nadania im odpowiednich właściwości i formy. Prowadzone są również intensywne badania z obszaru

chemicznego i fizycznego modyfikowania nanonapełniaczy tak, aby zapewnić im m.in. odpowiednią dyspersję w osnowie polimerowej.

Biorąc pod uwagę powyższe, przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska autorstwa Pana mgr inż. Sławomira Wilczewskiego w pełni wpisuje się w aktualne kierunki badań naukowych w dyscyplinie Nauki chemiczne oraz aktualne potrzeby przemysłu przetwórstwa tworzyw polimerowych.

2. OCENA FORMALNA

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest poprawna pod względem formalnym. Jest to praca o charakterze analityczno-eksperymentalnym o typowym dla tego typu prac układzie, a jej podstawę stanowi zbiór artykułów naukowych. Recenzowana rozprawa składa się z czterech opublikowanych artykułów naukowych, które poprzedzone są częścią opisową, w której Doktorant przedstawił m.in. wstęp do tematyki rozprawy doktorskiej, hipotezę i cele badawcze, uzasadnienie spójności tematycznej cyklu publikacji naukowych, opis badań składających się na rozprawę doktorską oraz podsumowanie.

Wszystkie przedstawione do oceny osiągnięcia naukowe, które stanowią zbiór powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowane zostały w zagranicznych czasopiśmie naukowych o dużej wartości naukowej:

- [P1] Wilczewski Sławomir, Skórczewska Katarzyna, Tomaszewska Jolanta, Lewandowski Krzysztof., Structure and properties of poly(vinyl chloride)/graphene nanocomposites, *Polymer Testing (Elsevier)*, 2020, 81, 106282.
- [P2] Wilczewski Sławomir, Skórczewska Katarzyna, Tomaszewska Jolanta, Lewandowski Krzysztof, Szulc Joanna, Runka Tomasz, Manufacturing homogenous PVC/graphene nanocomposites using a novel dispersion agent, *Polymer Testing (Elsevier)*, 2020, 91, 106868.
- [P3] Wilczewski Sławomir, Skórczewska Katarzyna, Tomaszewska Jolanta, Lewandowski Krzysztof, Studziński Waldemar, Osial Magdalena, Jencyk Piotr, Grzywacz Hubert, Domańska Agata., Curcuma longa L. rhizome extract as a poly(vinyl chloride)/graphene nanocomposite green modifier, *Molecules (MDPI)*, 2022, 27, 8081.
- [P4] Wilczewski Sławomir, Skórczewska Katarzyna, Tomaszewska Jolanta, Osial Magdalena, Dąbrowska Agnieszka, Nikoforow Kostiantyn, Jencyk Piotr, Grzywacz Hubert., Graphene modification by curcuminoids as an effective method to improve the

dispersion and stability of PVC/graphene nanocomposites, *Molecules* (MDPI), 2023, 28, 3383.

Ostatnią część rozprawy doktorskiej stanowi prezentacja aktywności naukowej Doktoranta zawierająca wykaz publikacji naukowych i rozdziałów w monografiach naukowych, patentów i zgłoszeń patentowych, udziału w projektach naukowych i badawczych oraz uzyskanych nagrodach i wyróżnieniach. Do rozprawy doktorskiej załączono również kopie artykułów naukowych stanowiących podstawę dysertacji i oświadczenia współautorów.

3. OCENA MERYTORYCZNA

3.1. Hipoteza oraz cele badawcze

Stawiana przez Doktoranta hipoteza badawcza brzmi:

„Struktura oraz właściwości fizykochemiczne nanokompozytów poli(chlorku winylu) z grafenem są w sposób istotny zależne zarówno od modyfikacji nanonapełniacza jak i jego zawartości w mieszaninie z polimerem oraz zastosowanej metodyki wytwarzania nanokompozytów PVC/GN.”

W ramach weryfikacji hipotezy badawczej Doktorant sformułował trzy główne cele naukowe rozprawy badawczej:

1. Analiza wpływu zawartości GN w nanokompozytach na osnowie PVC oraz warunków wytwarzania na strukturę i właściwości fizykochemiczne materiałów nanokompozytowych otrzymanych metodą wylewania z roztworu.
2. Określenie efektywności niekowalencyjnej funkcjonalizacji grafenu, głównie z zastosowaniem modyfikatora pochodzenia naturalnego pozyskanym z kłącza *Curcuma longa* L., w aspekcie jego zastosowania jako napełniacza do wytwarzania nanokompozytów na osnowie PVC.
3. Ocena wpływu funkcjonalizowanego grafenu na jednorodność struktury oraz podstawowe właściwości nanokompozytów na osnowie PVC.

Postawiona hipoteza jest zasadna i poprawnie sformułowana. Jej brzmienie odpowiada ustaleniom dokonany w ramach przeglądu literatury i aktualnego stanu techniki z obszaru przetwórstwa i modyfikowania grafenu oraz kompozytów polimerowych zawierających grafen. Również postawione cele badawcze nakreślone są poprawnie i odpowiadają pracom badawczym przeprowadzonym w rozprawie doktorskiej. Dobrany przez Doktoranta zakres prac badawczych wraz z zastosowaną metodyką badawczą jest w pełni wystarczający do realizacji założonych celów naukowych.

3.2. Artykuły stanowiące jednotematyczny cykl publikacji

Tematyka ocenianego cyklu publikacji naukowych dotyczy badań związanych z fizyczną modyfikacją poli(chlorku winylu) z wykorzystaniem niemodyfikowanego i modyfikowanego grafenu. Rezultaty prac badawczych przedstawione zostały w czterech artykułach opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych:

- Wilczewski Sławomir, Skórczewska Katarzyna, Tomaszewska Jolanta, Lewandowski Krzysztof., Structure and properties of poly(vinyl chloride)/graphene nanocomposites, *Polymer Testing* (Elsevier), 2020, 81, 106282.

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu grafenu (GN) na właściwości i strukturę suspensyjnego poli(chlorku winylu) (PVC). Nanokompozyty PVC/GN otrzymano metodą odparowania rozpuszczalnika, a ich strukturę oceniano za pomocą metod mikroskopii optycznej, SEM, FT-IR, XRD i spektroskopii Ramana. Właściwości termiczne otrzymanych materiałów zbadano metodą TGA. Określono także właściwości elektryczne i pęczenie kompozytów. Obserwacje mikroskopowe potwierdziły równomierny rozkład grafenu w matrycy PVC. Przeprowadzone badania wykazały wpływ grafenu na obniżenie rezystywności do wartości, która pozwalała na zaliczenie nanokompozytów PVC/GN do grupy materiałów antystatycznych. Na podstawie badań pęcznienia stwierdzono, że nanokompozyty PVC/GN charakteryzują się wyższą odpornością chemiczną na aceton w porównaniu z czystym poli(chlorkiem winylu). Badania wykazały, że właściwości otrzymanych materiałów zależą w istotny sposób od zawartości i poziomu dyspersji grafenu w matrycy PVC. Stwierdzono również wpływ GN na przyspieszenie procesu degradacji PVC.

- Wilczewski Sławomir, Skórczewska Katarzyna, Tomaszewska Jolanta, Lewandowski Krzysztof, Szulc Joanna, Runka Tomasz, Manufacturing homogenous PVC/graphene nanocomposites using a novel dispersion agent, *Polymer Testing* (Elsevier), 2020, 91, 106868.

Celem prac badawczych przedstawionych w było przygotowanie dyspersji grafenu (GN) w roztworze poli(chlorku winylu) (PVC) o zwiększonej stabilności nanonapełniacza dzięki zastosowaniu ekstraktu kurkumy (CE). Stabilną dyspersję wykorzystano do otrzymania metodą odparowania rozpuszczalnika nanokompozytów PVC/GN o bardziej jednorodnym rozmieszczeniu grafenu w osnowie. Skuteczność CE porównano z dwoma dostępnymi na rynku dyspergatorami w postaci kwasu oleinowego (OA) i polisorbatu 80 (P80). Skład chemiczny CE zbadano za pomocą spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera. Stabilność dyspersji badano metodą

wielokrotnego rozpraszania światła (Turbiscan Lab) i oceniano wizualnie przez okres 40 dni. Jednorodność dyspersji napełniacza w osnowie PVC oceniano za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej i spektroskopii Ramana. Zastosowanie środków dyspergujących poprawiło stabilność dyspersji grafenu w roztworze PVC. CE był środkiem, który najskuteczniej poprawił jednorodność dyspersji grafenu, zarówno w dyspersjach w roztworze PVC, jak i w foliach nanokompozytowych PVC/GN.

- Wilczewski Sławomir, Skórczewska Katarzyna, Tomaszewska Jolanta, Lewandowski Krzysztof, Studziński Waldemar, Osial Magdalena, Jencyk Piotr, Grzywacz Hubert, Domańska Agata., Curcuma longa L. rhizome extract as a poly(vinyl chloride)/graphene nanocomposite green modifier, *Molecules* (MDPI), 2022, 27, 8081.

W pracy zaproponowano metodę polepszenia dyspersji grafenu (GN) w matrycy poli(chlorku winylu) (PVC) poprzez zastosowanie naturalnego ekstraktu roślinnego z *Curcuma longa* L. (CE). Obecnie, pomimo coraz większej liczby doniesień na temat poprawy dyspersji GN w mieszankach PVC, w dalszym ciągu istnieje potrzeba poszukiwania przyjaznych dla środowiska i ekonomicznych stabilizatorów dyspersji. Zaproponowano stabilizator, który można łatwo uzyskać z rośliny charakteryzującej się stabilnością termiczną i wysoką skutecznością. Nanokompozyty PVC/GN stabilizowane proponowanym ekstraktem badano za pomocą SEM, AFM (struktura), TGA i testu czerwieni Kongo (właściwości termiczne). Dodatkowo zmierzono statyczne i dynamiczne właściwości mechaniczne oraz rezystywność elektryczną. Zastosowanie CE jako dyspergatora grafenu poprawiło jego dyspersję w matrycy PVC, wpłynęło na właściwości rozciągające, zwiększyło moduł zachowawczy i temperaturę zeszklenia oraz wydłużyło czas stabilności termicznej nanokompozytów. W pracy zaproponowano ekstrakt CE jako wydajny, ekologiczny dodatek do produkcji nanokompozytów o zwiększonej jednorodności nanonapełniacza w matrycy i obiecujących właściwościach.

- Wilczewski Sławomir, Skórczewska Katarzyna, Tomaszewska Jolanta, Osial Magdalena, Dąbrowska Agnieszka, Nikoforow Kostiantyn, Jencyk Piotr, Grzywacz Hubert., Graphene modification by curcuminoids as an effective method to improve the dispersion and stability of PVC/graphene nanocomposites, *Molecules* (MDPI), 2023, 28, 3383.

W pracy przedstawiono polimerowe cienkowarstwowe kompozyty na bazie poli(chlorku winylu) (PVC) i grafenu, których powierzchnie modyfikowano kurkuminoidami. Metody TGA, UV-vis, spektroskopia Ramana, XPS, TEM i SEM

potwierdziły skuteczność modyfikacji grafenu na skutek oddziaływań π - π . Badano dyspersję grafenu w roztworze PVC metodą turbidymetryczną. Metodami SEM, AFM i spektroskopii Ramana oceniono strukturę cienkowarstwowego kompozytu. Badania wykazały znaczną poprawę dyspersji grafenu (w roztworach i kompozytach PVC) po zastosowaniu kurkuminoidów. Najlepsze wyniki uzyskano dla materiałów modyfikowanych związkami uzyskanymi z ekstrakcji kłącza *Curcuma longa* L. Modyfikacja powierzchni grafenu tymi związkami zwiększyła także stabilność termiczną i chemiczną nanokompozytów PVC/grafen.

Wykazane do oceny artykuły naukowe są spójne tematycznie, spełniają, zatem warunek stawiany osiągnięciu naukowemu, który ma być podstawą nadania stopnia doktora. O powiązaniu tematycznym ocenianych artykułów świadczy przede wszystkim logicznie zaplanowany ciąg badań naukowych, w którym wyniki wcześniejszych prac badawczych wykorzystywane są w dalszych badaniach, które konsekwentnie zmierzają do realizacji założonych celów.

We wszystkich artykułach wykazanych do oceny mgr. inż. Sławomir Wilczewski był pierwszym i głównym autorem. Jego udział w powstaniu ocenianych artykułów polegał na: opracowaniu i rozwoju koncepcji badawczej, zaplanowaniu metodologii prac badawczych, przeprowadzeniu prac badawczych, weryfikacji wyników prac badawczych, analizie statystycznej, zarządzaniu danymi badawczymi, analizie wyników badań, współredakcji manuskryptu, edycji końcowej manuskryptu. Wkład Doktoranta w powstanie artykułów będących podstawą do ubiegania się o stopień doktora był zatem wiodący, a opis podejmowanych działań wskazuje na Jego pierwszoplanową rolę.

W toku prowadzonych prac badawczych, których wyniki przedstawione są w powyższych artykułach Doktorant przedstawił uzasadnienie podejmowanej tematyki badawczej, które poparte jest poprawnie dokonaną analizą literatury tematu i aktualnego stanu techniki. Przedstawia zastosowane metody otrzymywania kompozytów PVC z grafenem, właściwie wyjaśniając różnice i przyczyny zastosowanej metodyki wytwarzania nanokompozytów i modyfikowania napelnacza. Przedstawił wyniki dotyczące składu stosowanego ekstraktu roślinnego, analizę stabilności dyspersji grafenowych, strukturę nanokompozytów oraz mechanizm funkcjonalizacji grafenu. Dużą część prezentowanych wyników badań dotyczy wyników analizy właściwości nanokompozytów w ramach, których Doktorant dokonał oceny właściwości mechanicznych, termicznych, termomechanicznych, odporności na działanie czynników spęczniających oraz właściwości elektrycznych. Zastosowana przez Doktoranta metodyka badawcza została właściwie dobrana do zakresu

przeprowadzonych prac badawczych, a dokonana przez Niego obróbka, prezentacja, analiza i interpretacja danych jest właściwa. Wyciągnięte przez Doktoranta wnioski są prawidłowe i poparte otrzymanymi wynikami.

Do wskazanych przez Doktoranta najważniejszych osiągnięć naukowych rozprawy doktorskiej można zaliczyć:

- ustalenie optymalnych warunków otrzymywania nanokompozytów poli(chlorku winylu) z grafenem warunkujących wytworzenie jednorodnych materiałów bez degradacji osnowy, przy jednoczesnym uwzględnieniu wpływu pozostałości rozpuszczalnika,
- charakterystykę oddziaływań na granicy faz napełniacz–polimer,
- charakterystykę stabilności dyspersji grafenu w roztworach poli(chlorku winylu) oraz wykazanie istotnego wpływu funkcjonalizacji niekowalencyjnej na jej poprawę,
- wykazanie wpływu stabilności dyspersji grafenu w roztworach PVC na homogeniczność struktury nanokompozytów PVC/GN,
- zaproponowanie ekstraktu z kłącza *Curcuma longa* L. jako naturalnego modyfikatora niekowalencyjnego do zastosowań w nanokompozytach poli(chlorku winylu) z grafenem, który warunkuje homogeniczność struktury tych materiałów,
- wykazanie wpływu ekstraktu z kłącza *Curcuma longa* L. ze szczególnym uwzględnieniem metody jego wprowadzania do nanokompozytów PVC/GN na ich właściwości fizykochemiczne,
- wykazanie oddziaływań π – π jako głównego mechanizmu funkcjonalizacji grafenu z zastosowaniem kurkuminoidów jako modyfikatorów.

Wymienione najważniejsze osiągnięcia naukowe rozprawy doktorskiej są poprawnie sformułowane i zgodne z rezultatami przedstawionymi w ocenianych artykułach naukowych. Prezentowane wyniki i wnioski przeprowadzonych prac badawczych umożliwiają stwierdzenie, że postawiona hipoteza badawcza została potwierdzona. Doktorant wykazał, że zastosowanie różnych warunków wytwarzania nanokompozytów polimerowych w procesie wylewania z roztworu istotnie wpływa na właściwości otrzymanych materiałów. Jakość dyspersji nanonapełniacza grafenowego została znacząco poprawiona w wyniku zastosowania modyfikatorów oddziałujących na drodze niekonwalencyjnej. Doktorant wykazał, że do tego typu działań możliwe jest zastosowanie związków pochodzenia naturalnego, w tym wykorzystywanego przez Niego ekstraktu z kłącza *Curcuma longa* L. Dodatkowo Doktorant

wykazał, że nie bez znaczenia jest metoda wprowadzania czynnika funkcjonalizującego do układu osnowa/napełniacz.

W toku oceny rozprawy doktorskiej nasuwa się kilka wątpliwości/uwag/pytań dotyczących merytorycznego aspektu pracy:

1. W pracy brakuje jednoznacznego wskazania, co ma decydujący wpływ na strukturę i właściwości otrzymywanych nanokompozytów (modyfikacja, zawartość nanonapełniacza, parametry wytwarzania). W opinii recenzenta Doktorant powinien w jasno wskazać, który sposób postępowania jest najbardziej korzystny.
2. Wątpliwości budzi kwestia odpadów z kompozytów zawierających nanonapełniacze, w tym grafem. Czy takie odpady, a dokładnie zawarte w nich nanomateriały, nie będą stanowiły zbyt dużego obciążenia dla środowiska naturalnego?
3. Jak z recyklingiem tego typu materiałów? Czy zastosowane związki naturalne będą odporne na wielokrotne obciążenia termiczne podczas procesów wielokrotnego przetwórstwa?
4. Szerszego wyjaśnienia wymagałaby również kwestia zastosowania metody AFM do oceny dyspersji grafenu w osnowie PVC. Metoda AFM stosowana jest raczej do obrazowania powierzchni materiałów, a zatem jej wykorzystanie do oceny stanu „wnętrza” próbki może budzić pewne wątpliwości.
5. Pewnym zaskoczeniem jest brak w zastosowanej metodyce badawczej metody różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC). Jest to metoda badawcza standardowo stosowana do oceny wpływu napełniaczy na właściwości termiczne i strukturalne (stopień krystaliczności) kompozytów polimerowych. Czy takie badania były wykonywane w odniesieniu do badanych materiałów? Co było przyczyną braku tej metody badawczej?
6. Jaka może być przyczyna zwiększonej odporności termicznej układów GN-CU oraz GN-CE wyznaczonych w badaniu TG? (P4)
7. Jednym z zakładanych przez Doktoranta dalszych kierunków prac badawczych jest zastosowanie CE do otrzymywania nanokompozytów metodą mieszania w stanie uplastycznionym. W jakim zakresie zrealizowane prace badawcze i uzyskane wyniki będą mogły być odniesione do zupełnie innej metody otrzymywania nanokompozytów.

Wskazane wątpliwości i uwagi nie wpływają jednak na ostateczną – wysoką – ocenę recenzowanej rozprawy doktorskiej i stanowią raczej podstawę do dalszej dyskusji i wskazanie Doktorantowi dalszych kierunków prac badawczych.

3.3. Podsumowanie oceny merytorycznej

Podsumowując ocenę merytoryczną osiągnięcia będącego podstawą recenzowanej rozprawy doktorskiej można stwierdzić, że prowadzone przez Doktoranta prace badawcze mają bez wątpienia nowatorski i innowacyjny charakter, a uzyskana wiedza stanowi duży wkład w rozwój dyscypliny Nauki chemiczne. Uzyskane wyniki mają duże znaczenie naukowe, stanowiąc istotne uzupełnienie wiedzy w obszarze możliwości poprawy właściwości kompozytów polimerowych zawierających nanonapełniacze, poznania sposobów modyfikowania nanonapełniacza grafenowego oraz procesów zachodzących podczas procesów modyfikacji. Potwierdzeniem innowacyjności prowadzonych przez Doktoranta prac badawczych jest uzyskanie ochrony patentowej na wynalazek „Sposób otrzymywania nanokompozytów poli(chlorek winylu)/grafen o zwiększonej dyspergowalności nanonapełniacza” (PL 24286), którego podstawą są badania zaprezentowane w recenzowanej rozprawie doktorskiej.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Zakres recenzowanej rozprawy doktorskiej kwalifikuje ją do dziedziny Nauk ścisłych i przyrodniczych oraz dyscypliny Nauki chemiczne. Praca doktorska Pana mgr. inż. Sławomira Wilczewskiego odznacza się wysokim poziomem naukowym i analitycznym, wnosząc cenny wkład do dyscypliny Nauki chemiczne. Oceniane praca stanowi wartościowe pod względem merytorycznym, poznawczym i aplikacyjnym osiągnięcie naukowe. Prezentowany przez Doktoranta poziom merytoryczny, bogaty warsztat badawczy, umiejętność rozpoznawania problemów naukowych oraz biegłość w ich rozwiązywaniu świadczą o jego dojrzałości naukowej. W oparciu o przeprowadzoną ocenę pracy doktorskiej stwierdzam tym samym, że: **Rozprawa doktorska mgr inż. Sławomira Wilczewskiego pt. „Wpływ modyfikowanego grafenu na strukturę i właściwości nanokompozytów na osnowie poli(chlorku winylu)” spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668) i może stanowić podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora w dyscyplinie nauki chemiczne. Wnoszę zatem o dopuszczenie mgr inż. Sławomira Wilczewskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**

31.10.2023

