

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,
Wydział Chemii
Katedra Chemii Fizycznej i Fizykochemii Polimerów
ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń



UNIWERSYTET
MIKOŁAJA KOPERNIKA
W TORUNIU
Wydział Chemii

dr hab. Ewa Olewnik-Kruszkowska, prof. UMK
olewnik@umk.pl

Toruń, 22 grudnia 2025r

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Krzak
zatytułowanej
„Struktura i własności wielowarstwowych materiałów kompozytowych
aplikowanych w warunkach kriogenicznych”

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Anny Krzak została przygotowana w Laboratorium Naukowo-Dydaktycznym Nanotechnologii i Technologii Materiałowych, będącym częścią Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej. Opiekę nad realizacją badań sprawował jako promotor dr hab. inż. Grzegorz Matula, prof. PŚ, natomiast rolę promotorki pomocniczej pełniła dr inż. Agnieszka Nowak. Podkreślić należy fakt, że rozprawa została wykonana w ramach projektu „Doktorat wdrożeniowy”.

Wybór tematyki pracy: Poszukiwanie materiałów umożliwiających redukcję masy pojazdów i wyrobów przy jednoczesnym zachowaniu lub poprawie parametrów użytkowych stanowi obecnie szczególnie istotny kierunek badań, motywowany zarówno względami ekonomicznymi, jak i coraz bardziej restrykcyjnymi wymaganiami prawnymi dotyczącymi ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko. Naturalną odpowiedzią na te wyzwania jest projektowanie i zastosowanie materiałów kompozytowych, które dzięki odpowiednio dobranej kombinacji osnowy i fazy wzmacniającej pozwalają uzyskać pożądane właściwości w określonych warunkach eksploatacji. Jednocześnie należy zaznaczyć, że literatura dotycząca uszkodzeń kompozytów polimerowych wzmacnianych włóknami w warunkach kriogenicznych jest wciąż stosunkowo niewielka. Poszukiwanie nowych kompozytów przeznaczonych do pracy w niskich temperaturach wpisuje się zatem w aktualne tendencje rozwojowe, ukierunkowane na opracowanie innowacyjnych, bezpiecznych, trwałych i przyjaznych środowisku materiałów.

Cel rozprawy: Głównym celem rozprawy było opracowanie innowacyjnych formułacji kompozytowych przeznaczonych do pracy w warunkach kriogenicznych. W skład wytworzonych kompozytów wchodziła osnowa duroplastyczna oraz materiały syntetyczne,

stanowiące wzmocnienie. W sformułowaniu celu nie zdefiniowano jednak jednoznacznie oczekiwanych, mierzalnych parametrów materiałów; wskazano jedynie, że wytypowane układy miały charakteryzować się korzystnymi właściwościami mechanicznymi, termicznymi i elektrycznymi, a także spełniać wysokie wymagania stawiane przez przemysł kriogeniczny.

Ocena merytoryczna rozprawy: Rozprawa mgr inż. Anny Krzak jest napisana w sposób tradycyjny, w formie 192-stronicowej monografii. Obejmuje ona przegląd literatury, badania eksperymentalne podzielone na kilka etapów wraz z opisem procesu produkcji na skalę przemysłową, a także wnioski oraz propozycje dalszych kierunków prac badawczych nad materiałami do zastosowań w warunkach kriogenicznych. Na ostatnich stronach został zamieszczony wykaz literatury, natomiast nie dołączono zestawienia dorobku naukowego Doktorantki.

Część literaturowa pozostaje w ścisłym związku z tematyką rozprawy. Obejmuje omówienie zagadnień związanych z kriogenicznością, rodzajami stosowanych osnów i faz wzmacniających, a także opis metod wytwarzania kompozytów, zilustrowany czytelnymi schematami graficznymi. Istotnym elementem jest rozdział poświęcony kompozytom aktualnie wykorzystywanym w warunkach kriogenicznych oraz przegląd najważniejszych osiągnięć innych badaczy, co może stanowić inspirację dla dalszych prac. Na uwagę zasługuje również fakt, że część literaturową zamyka rozdział dotyczący recyklingu kompozytów, co świadczy o kompleksowym ujęciu problematyki.

Teza rozprawy nie budzi zasadniczych zastrzeżeń, z wyjątkiem braku jasno określonych docelowych wartości parametrów materiałów, jakie zamierzano osiągnąć. Pozytywnie należy natomiast ocenić przygotowany, przejrzysty graficznie plan badań.

W pracy w sposób klarowny przedstawiono i opisano materiały oraz odczynniki zastosowane w badaniach, a ich zestawienie uzupełniono prezentacją graficzną, co ułatwia śledzenie zmian składu. Szczegółowo opisano także sposób otrzymywania kompozytów oraz metodykę bardzo szerokiego zakresu analiz. Brakuje natomiast ilościowej charakterystyki składu początkowego materiałów – zarówno w odniesieniu do osnowy, jak i faz wzmacniających.

Kolejne części pracy zostały poświęcone omówieniu wyników badań własnych. Doktorantka badania rozpoczęła od oznaczenia udarności dla otrzymanych materiałów metodą Charpy'ego, zarówno po przechowywaniu w temperaturze pokojowej, jak i po ekspozycji na działanie ciekłego azotu. W tabeli 8 podano uśrednione wartości uzyskane dla kompozytów. Niestety, nie podano żadnych danych statystycznych dla pomiarów, choćby

odchylenia standardowego, które jest jednym z podstawowych parametrów wskazywanych podczas analizy wyników badań. Te same dane, uzupełnione o słupki błędów zamieszczone na rysunku 19, jasno sugerują, że otrzymano materiały, które nie są wrażliwe na zmiany temperatury. Niemniej jednak, należy zaznaczyć, że badania opisano i zobrazowano w sposób wyczerpujący.

Mając na uwadze znaczenie właściwości mechanicznych kompozytów, na kolejnych stronach opisano dane otrzymane w wyniku trójpunktowego zginania, a mianowicie wytrzymałość na zginanie oraz wartości modułu Younga. Doktorantka skrupulatnie opisała zmiany w wartościach zarówno modułu Younga, jak i wytrzymałości na zginanie, dopatrując się spadków i wzrostów tych wartości dla poszczególnych kompozycji, mimo iż zamieszczone na rysunkach 33 i 34 dane wyraźnie wskazują, że zachodzące zmiany są statystycznie nieistotne i mieszczą się całkowicie w zakresie słupków błędów. Uprawnia to do wniosku, że otrzymano wyjątkowe materiały, dla których zarówno moduł Younga, jak i wytrzymałość na zginanie pozostają praktycznie niezmiennione po ekspozycji na ciekły azot.

Rozbudowana interpretacja danych tabelarycznych jest imponująca, lecz dopiero uwzględnienie informacji o rozrzucie wyników pozwala w pełni docenić, iż kompozyty te zachowują stabilne właściwości mechaniczne w warunkach kriogenicznych.

W rozprawie przedstawiono również wyniki otrzymane podczas statycznej próby rozciągania oraz badania udarności jednowarstwowych materiałów. Jednakże w metodyce pracy nie wyjaśniono jednak jednoznacznie, w jaki sposób różni się proces formowania materiałów jedno- i wielowarstwowych. Badania jednowarstwowych materiałów posłużyły do badań symulacyjnych. Mając na uwadze, że wartości poszczególnych parametrów, takich jak udarność, moduł Younga oraz wytrzymałość na rozciąganie, podano jako wartości średnie bez podania przedziałów ufności lub odchylenia standardowego, można jedynie zakładać, że przeprowadzana z całą starannością, uwagą i dokładnością dyskusja otrzymanych danych jest właściwa.

Ze względu na fakt, iż zarówno materiały jednowarstwowe, jak i wielowarstwowe posiadają te same akronimy, trudno jednoznacznie stwierdzić, czy wyniki w tabelach 14 i 15 dotyczą materiałów jedno- czy wielowarstwowych. Ponadto w niewyjaśniony sposób zniknęły z tabeli 14 próbki EP_1_3 oraz EP_AD_2. W tabelach 15 i 16 pojawia się próbka EP_1_3, natomiast EP_AD_2 nadal jest (bez wskazania przyczyny) pominięta w tabeli 15. Z kolei w tabeli 16 pojawiają się trzy warianty tego materiału z dopiskiem G, B i C, przy czym dodatkowe oznaczenia nie są wyjaśnione w sąsiedztwie tabeli (str. 87), a dopiero na stronie 95, gdzie poinformowano, że podane oznaczenia wskazują na trzy różne fazy wzmacniające.

Szczególnie wartościową część pracy stanowi analiza modułu Younga w funkcji odkształcenia, prowadzona zarówno w temperaturze pokojowej, jak i w -196°C . Na podstawie tych badań wykazano, że temperatura kriogeniczna zwiększa wytrzymałość kompozytów niezależnie od rodzaju zastosowanej fazy wzmacniającej.

W pracy podjęto się również wykonania statycznej próby 4-punktowego zginania, rozszerzonej o analizę symulacyjną wykorzystującą dwuwymiarowy model elementów skończonych. Model ten pozwolił zasymulować wpływ położenia pęknięć w wiązce na sztywność modelowego kompozytu. Należy podkreślić, że otrzymany efekt jest obiecujący i będzie kontynuowany.

W dalszej części rozprawy omówiono badania termiczne i termomechaniczne, w tym analizę DMTA oraz rozszerzalności cieplnej. Wykresy są czytelne, a tabela 20 zawiera także odchylenia standardowe, co umożliwia pełnowartościową dyskusję wyników.

Zgodnie z założonym planem wykonano również analizę termomechaniczną, podczas której obserwowano zmianę długości materiałów kompozytowych w funkcji temperatury. Badania te pozwoliły wyznaczyć współczynnik rozszerzalności termicznej, korzystając z modelu regresji. Niezrozumiałe jest, dlaczego zgodnie ze wskazaną metodyką (str. 48) badania w zakresie temperatur od -150 do -20°C zostały wykonane tylko dla wstępnych materiałów, natomiast w przypadku kompozytów badanych w drugim etapie zakres stosowanych temperatur znacznie się różni. Mianowicie, analiza miała miejsce w zakresie od -80 do około 140°C . Jaki był powód i cel zmiany zakresu temperatur?

Na kolejnych stronach Doktorantka omówiła wyniki otrzymane podczas emisji cieplnej. Otrzymane dane są bardzo ciekawe; szkoda, że nie wykonano ich dla wszystkich materiałów wytypowanych do etapu II. Równie interesująco prezentują się krzywe obrazujące zmiany przewodności cieplnej w zakresie temperatur istotnym z punktu zastosowań kriogenicznych. Niestety, Doktorantka powołuje się w tym punkcie na wyniki zamieszczone w tabeli 23, która to tabela nie została zamieszczona w pracy.

W sposób poprawny przedstawiono oraz opisano wykonane analizy TGA, z wyjątkiem niefortunnnych sformułowań dotyczących kinetyki procesów rozkładu. Przypuszczam, że takie sformułowania wynikają ze skrótego myślenia, jednak nie powinny pojawiać się w rozprawie doktorskiej. Również analiza DSC dostarczyła interesujących danych przedstawionych zarówno w sposób graficzny, jak i tabelaryczny. Doktorantka wykonała także dodatkowe badania dla wybranych kompozytów w postaci właściwości elektrycznych.

Niezwykle interesującym elementem pracy jest analiza cyklu życia żywic epoksydowych, zwłaszcza, że wykorzystano wszystkie 18 kategorii wpływu. Jednakże kilka informacji należy wyjaśnić lub uściślić, co (mam nadzieję) będzie miało miejsce podczas obrony rozprawy doktorskiej. Mianowicie: Doktorantka wskazuje, że analiza inwentaryzacji została między innymi wykonana na podstawie wyników badań laboratoryjnych. Jakie to były badania? W jaki sposób ustalono wartości dla danych wejściowych? Nie zmienia to faktu, że przeprowadzone badania, uzupełnione o analizę wrażliwości, stanowią cenny element rozprawy doktorskiej, a poczynione spostrzeżenia co do możliwości zmian w poszczególnych czynnikach, takich jak rodzaj transportu czy źródło energii, wyznaczają perspektywiczne kierunki dalszych badań.

Zdecydowanie na podkreślenie zasługuje fakt uruchomienia linii produkcyjnej dla jednego z kompozytów. Niestety, nie przedstawiono ani opisu tej linii, ani sposobu modyfikacji, ani też zdjęć czy schematu zaprojektowanej linii. Natomiast należy podkreślić, że wykonano serię badań kluczowych dla kompozytów do zastosowań w warunkach kriogenicznych, takich jak udarność metodą Charpy'ego i statyczna próba 3-punktowego zginania, co jest niezwykle ważne z punktu widzenia zastosowań, zwłaszcza, że otrzymane wyniki badań są bardzo obiecujące. Niestety, i w tej części rozprawy nie brakuje pomyłek. Doktorantka wskazuje, iż wyniki przedstawiono na rys. 91, jednakże ten rysunek dotyczy zupełnie innych badań. Natomiast rysunek 95 obejmuje więcej niż jest wykresów w podpisie.

Na kolejnych stronach rozprawy Doktorantka przedstawiła rezultaty dynamicznej próby rozciągania, zarówno w temperaturze pokojowej, jak i w warunkach kriogenicznych, z obszerną interpretacją otrzymywanych wyników, jednakże nie wskazała źródeł, z których zostały zaczerpnięte dane literaturowe, do których porównywane są wyniki własne.

W przypadku badania odporności na pękanie wyraźnie obserwuje się wzrost odporności w warunkach kriogenicznych. Jednakże ponownie Doktorantka podeszła do tematu chaotycznie, bowiem osie opisane są jako siła i przemieszczenie, a podpis pod rysunkiem wskazuje na rozwartość szczeliny. Ponadto, nie wyjaśniono, co znajduje się na dodatkowym wykresie (przypuszczalnie mającym oznaczenie (c), skoro dwa pozostałe posiadają symbole (a) i (b)) na rysunku 98. W tabelach 36 i 37 zamieszczono wyniki badań odporności na pękanie w zakresie liniowo-sprężystym, przeprowadzonych w temperaturze pokojowej – przypuszczam, że dla próbki EP_4_2. Niestety, nie wskazano ani próbki, ani nie wyjaśniono zastosowanych w tabelach symboli, co powoduje, iż po raz kolejny tzw. skróty myślowe znacząco utrudniają podążanie za tokiem prowadzonej dyskusji. Doktorantka

bowiem wspomina wyłącznie o wartościach właściwości mechanicznych bez wyjaśnienia, jakie właściwości ma na myśli. Całkowicie niezrozumiała jest tabela 38. Zgodnie z jej tytułem, powinny znajdować się w niej zarówno wyniki otrzymane przez Doktorantkę, jak i uzyskane przez innych badaczy. Nie jestem w stanie rozwikłać tej zagadki i ustalić, gdzie we wspomnianej tabeli znajdują się dane otrzymane przez Doktorantkę. Ponadto, w tekście do tabeli 39 Doktorantka wciąż wskazuje na kompozyt EP_4_2, natomiast w tytule pojawia się próbka EP_4_2_ind, co wprowadza dysonans i nie pozwala ustalić, czy cały dział poświęcony odporności na pękanie dotyczy próbki otrzymanej w laboratorium, czy kompozytu otrzymanego w warunkach przemysłowych.

W kolejnym rozdziale poświęconym przewodności, próbka wyprodukowana w warunkach laboratoryjnych uzyskała nową nazwę, co w końcu pozwoliło rozróżnić w sposób bezsprzeczny materiał otrzymany w warunkach laboratoryjnych od kompozytu formowanego przemysłowo. Dlatego należy podkreślić, że w tej części zarówno opisy na wykresie, jak i dyskusja wyników zostały przygotowane w sposób, który nie budzi wątpliwości, o którym materiale jest mowa.

W przypadku właściwości elektrycznych zastanawiający jest fakt, iż pomimo przedstawienia w tabeli 40 wartości otrzymanych dla trzech kompozytów, tytuł tabeli wskazuje, że powinny znajdować się wyniki otrzymane tylko dla jednego, który to kompozyt jest również głównie dyskutowany w treści rozdziału. Jaki jest zatem cel przedstawiania pozostałych dwóch?

Szczególne uznanie budzą kolejne badania LCA, wykonane tym razem dla układu żywica-włókno szklane, z uwzględnieniem różnych procesów produkcyjnych. Wyniki badań LCA przedstawione są klarownie, a dyskusja nie budzi zastrzeżeń.

Wiele cennych informacji dotyczących procesów laminowania, a także właściwości otrzymywanych kompozytów, zostało zebranych w podsumowaniu. Dopiero w tej części pracy widać całościowy zamysł: wyjaśnione są poszczególne etapy pracy, mechanizmy reakcji, powody zachodzących zmian w strukturze i właściwościach materiałów czy przyczyny eliminacji poszczególnych kompozytów po badaniach wstępnych. Ponadto w tej części pracy podkreślono, jakich informacji o materiale dostarczyły wykonane analizy i jakie są skutki prowadzonej modyfikacji. W skondensowany sposób przedstawiono również efekty oceny cyklu życia dwóch żywic epoksydowych.

Mając na uwadze, że badania zostały przeprowadzone w ramach programu doktoratu wdrożeniowego, bardzo istotny punkt rozprawy stanowią przeprowadzone próby

produkcyjne. W rozprawie podkreślono, że trzy wytypowane do drugiego etapu warianty kompozytów (EP_4_2, EP_AD_1 i EP_AD_2) posiadają potencjał wdrożeniowy. Jednocześnie zaznaczono, że dwa z nich wymagają przebudowy lub nawet złożenia nowej linii produkcyjnej. Natomiast w przypadku materiału EP_4_2 podkreślono, iż nastąpiło wdrożenie do produkcji poprzez wykorzystanie istniejącej w zakładzie linii technologicznej, wymagającej jedynie przystosowania. Wskazane informacje, nie są spójne z treściami pracy zamieszczonymi w rozdziale pt. „Teza i zakres pracy” w której zapisano, iż „Opracowano i zmodyfikowano linię technologiczną do wytwarzania wymienionych materiałów pozwalającą na dobór parametrów produkcji.” (str. 29).

W podsumowaniu i wnioskach porównano również właściwości próbki EP_4_2 wytwarzanej w laboratorium z właściwościami materiału formowanego w warunkach przemysłowych. Omówiono szczegółowo, a także uzasadniono różnice we właściwościach obu laminatów, co stanowi wartościowy punkt tej pracy.

Z obowiązku Recenzenta muszę również zwrócić uwagę na kilka innych niedociągnięć, które nie wymagają komentarza ze strony Doktorantki:

- ∞ Doktorantka wielokrotnie stosuje niemierzalne sformułowania, takie jak:
- ∞ korzystne parametry mechaniczne; wyselekcjonowanie trzech najlepszych materiałów, które wykazały najlepsze właściwości mechaniczne; łatwe i proste metody; najgorsze wartości; konkretne, wysokie wymagania w stosunku do stosowanych materiałów itp.
- ∞ – W tabeli 2 (str. 18) zamiast numerów materiałów powinien znaleźć się ich skład, aby jednoznacznie ocenić, jaki składnik mógł mieć wpływ na właściwości omawianych materiałów.
- ∞ Rysunek 7 (str. 31) – w części schematu, gdzie wymienione są materiały przeznaczone do formowania osnowy, nie wskazano, jaki eter był wykorzystywany. Ponadto, wątpliwość budzi umieszczenie w tym miejscu również fazy wzmacniającej, jako jednego z podpunktów doboru materiału na osnowę.
- ∞ W tabeli 3 (str. 36) – struktura opisana jako diaminodifenylosulfon nie przedstawia wspomnianego związku chemicznego. Ponadto, ani w spisie skrótów, ani w tabeli nie wyjaśniono skrótów MHHPA i HHPA.
- ∞ Dla większości uśrednionych wyników badań brakuje jakiegokolwiek statystyki.
- ∞ W Rozprawie znajdują się liczne niepoprawne sformułowania: „przykładowe widoki próbek”; „kompozyty bezwodnikowe”; „powierzchnia zawiera pierwiastki węgla (C) i

tlenu (O)” (str. 75); „materiałów kompozytowych z dwoma różnymi fazami” (str. 104).

- ∞ Str. 97: na wykresach podawana jest temperatura w stopniach Celsjusza, a w tekście w Kelvinach, co nie ułatwia podążania za dyskusją wyników.
- ∞ Przyporządkowanie typu mikrouszkodzeń opisane jest niejednolicie: raz cyfrą rzymską, a raz arabską (str. 99).
- ∞ W rozprawie pojawiają się trzy oznaczenia dla ciekłego azotu: LN2, LN, LN2.
- ∞ Z niewyjaśnionych powodów strony nr 27, 53, 139 i 174 są puste.
- ∞ Na str. 117 Doktorantka odnosi się do tabeli numer 23, której nie ma dla danych wyników badań. Nie wskazuje również numeru wykresu, który omawia, co utrudnia podążanie za dyskusją wyników.

Podsumowanie i wnioski końcowe: Lektura przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej nasunęła mi kilka pytań i wątpliwości, które mogą być przedyskutowane lub wyjaśnione podczas obrony rozprawy doktorskiej. Jestem pewna, że uzupełnienie treści rozprawy o te punkty w pełniejszy sposób pozwoli na zrozumienie podejmowanych badań:

- ∞ Czy są normy, które narzucają, jakie właściwości powinien posiadać kompozyt przeznaczony do celów kriogenicznych? Jeśli tak, proszę podać numer i tytuł normy oraz zakres wartości poszczególnych właściwości.
- ∞ Na jakiej podstawie ustalono ilość cykli zanurzania w ciekłym azocie materiałów przeznaczonych do badania udarności metodą Charpy’ego?
- ∞ W pracy nie zostało to ujęte, zatem proszę wyjaśnić, czy materiały jednowarstwowe formuje się w inny sposób niż materiały wielowarstwowe?
- ∞ Proszę wytłumaczyć, czy moduł Younga może ulegać degradacji? Proszę przedstawić definicję degradacji. Jak Doktorantka rozumie degradację tego parametru? (str. 97)
- ∞ Co Doktorantka rozumie przez sformułowanie „temperatura odpowiadająca najszybszej kinetyce rozkładu,” (str. 119)?
- ∞ W przypadku analizy TGA wskazano, iż „w badanym zakresie temperatur proces degradacji nie został całkowicie zakończony” (str. 119). Proszę wyjaśnić, co o tym świadczy?
- ∞ Proszę wyjaśnić, dlaczego analiza właściwości elektrycznych jest istotna w przypadku kompozytów przeznaczonych do zastosowań w warunkach kriogenicznych? Jakie składowe składniki decydują o właściwościach elektrycznych kompozytów epoksydowo-szklanych?

- ∞ Proszę wyjaśnić, dlaczego próbka EP_4_2_LN_ind posiada tak dużą wytrzymałość na zginanie w porównaniu do innych badanych materiałów?
- ∞ Proszę wskazać literaturę, z której zaczerpnięto dane do porównania Modułu Younga laminatów kompozytowych przy odkształceniu 1,1%, zmierzonym w temperaturze pokojowej (RT) oraz w -196°C (tabela 35, str. 146).
- ∞ Proszę wyjaśnić sformułowanie „Kompozyt EP_4_2 wytwarzany w warunkach przemysłowych wykazuje jedynie nieznaczny wzrost względnego spadku sztywności w niskiej temperaturze, z 2,39% do 2,75%” w odniesieniu do danych zamieszczonych w tabeli 35.
- ∞ Proszę wyjaśnić, dlaczego na rysunku 86 (str. 127) przedstawiono 18 kategorii, które zostały wzięte do oceny wpływu żywicy na środowisko, natomiast na rys. 101 (str. 154) kategorii jest tylko 12 i są one różne od tych przedstawionych wcześniej, lub jak w przypadku zakwaszenia posiadają różne jednostki.
- ∞ Proszę odnieść się do treści w pracy wskazujących, iż „Opracowano i zmodyfikowano linię technologiczną do wytwarzania wymienionych materiałów, pozwalającą na dobór parametrów produkcji.” (str. 29).

Podsumowanie: Mając na uwadze, jak ciekawe zagadnienie zostało podjęte i przeanalizowane w przedstawionej do oceny rozprawie doktorskiej, czuję pewien niedosyt, jeśli chodzi o interpretację otrzymanych danych. Ilość przedstawionych wyników jest imponująca, jednakże chaos w nazewnictwie i skróty myślowe podczas dyskusji utrudniają przeanalizowanie toku myślenia i postępowania w poszczególnych krokach.

Równocześnie należy podkreślić, iż założony cel pracy został osiągnięty. Opracowano wielowarstwowy materiał kompozytowy, charakteryzujący się unikatowymi parametrami użytkowymi. Ponadto, jedno z najlepszych nowo opracowanych rozwiązań materiałowych zostało wytworzone w warunkach przemysłowych, przebadane i skierowane do produkcji wielkoseryjnej, co przyczyniło się do poszerzenia oferty handlowej firmy. Jednakże jednocześnie do rozprawy nie załączono choćby raportu z wdrożenia produktu, który powinien stanowić podstawę doktoratu wdrożeniowego.

Podsumowując, mgr inż. Anna Krzak w sposób kompleksowy zrealizowała zadanie obejmujące zaprojektowanie, wytworzenie i charakterystykę nowego kompozytu do zastosowań kriogenicznych, zdobywając szeroką wiedzę teoretyczną i praktyczną. Stwierdzam zatem, iż rozprawa doktorska mgr inż. Anny Krzak pt. „Struktura i własności wielowarstwowych materiałów kompozytowych aplikowanych w warunkach kriogenicznych”

spełnia wymagania ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r. i
wnioskuję o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

dr hab. Ewa Olewnik-Kruszkowska, prof. UMK

/podpis odręczny/