

dr hab. inż. Jerzy Korol, prof. GIG-PIB

Katowice, 20.01.2025

Kierownik Laboratorium Technologii Materiałowych i Recyklingu
Zakład Badań Mechanicznych i Inżynierii Materiałowej
Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy
Plac Gwarków 1
40-166 Katowice

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Glińskiego pt.: Analiza struktury i własności nowo opracowanych folii kompozytowych n-warstwowych, wytwarzanych za pomocą technologii rozdmuchu, wspomaganą precyzyjnym systemem dozowania grawimetrycznego

Przygotowanej pod opieką dr hab. inż. Tomasza Tańskiego prof. PŚ (Promotora) i dr inż. Marcina Bilewicza (Promotora pomocniczego) oraz inż. Mieczysława Czmajducha (Opiekuna)

1. Podstawa do opracowania recenzji

Podstawą formalną do opracowania niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Śląskiej Pana prof. dr hab. inż. Adama Grajcara z dnia 22.10.2024 nr RDIMa.512.10.2024

2. Ocena formalna rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca składa się ze 176 ponumerowanych stron maszynopisu zawierającego spis treści, 7 rozdziałów zawierających obok tekstu 28 tabel i 64 rysunki, spis literatury zawierający 158 pozycji, oraz streszczenie w języku polskim i języku angielskim. Streszczenia w języku polskim i języku angielskim o objętości 3 stron każde zawiera uzasadnienie celowości podjęcia badań oraz syntetyczny opis zawartości pracy. Praca jest poprawnie podzielona na kluczowe części, obejmujące wstęp, przegląd literatury, badania własne, wyniki badań, wdrożenie, podsumowanie oraz wnioski. Układ ten jest zgodny z wymaganiami dla prac doktorskich i zapewnia logiczne przedstawienie problemu badawczego oraz jego rozwiązania.

3. Ocena celowości podjęcia badań


Podjęcie badań opisanych w rozprawie doktorskiej mgr. inż. Tomasza Glińskiego pt. „Analiza struktury i właściwości nowo opracowanych folii kompozytowych n-warstwowych, wytwarzanych za pomocą technologii rozdmuchu, wspomaganą precyzyjnym systemem dozowania grawimetrycznego” należy uznać za celowe i uzasadnione zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i praktycznego.

Problematyka rozprawy wpisuje się w aktualne wyzwania stojące przed przemysłem tworzyw sztucznych, związane z koniecznością wdrażania zasad gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ), ograniczania ilości odpadów polimerowych oraz zwiększania wykorzystania recyklatów w procesach

Biuro Dziekana

str. 1

wpłynęło dnia 20.01.2025
RDJM a/18/15/1/2025
nr zał.



produkcyjnych. W szczególności, badania nad folią trójwarstwową z udziałem regranulatów LDPE oraz wypełniacza mineralnego odpowiadają na potrzebę opracowania rozwiązań o wysokiej jakości użytkowej, które jednocześnie spełniają kryteria ekologiczne i ekonomiczne. Tego typu materiały mają ogromne znaczenie w sektorze opakowaniowym, który jest kluczowym obszarem zastosowania omawianych folii. Celowość podjętych badań wynika również z praktycznego znaczenia opracowanej technologii. Rozprawa koncentruje się na innowacyjnym wykorzystaniu systemu dozowania grawimetrycznego w procesie rozdmuchu, co pozwala na precyzyjną kontrolę składu i parametrów procesu. Wprowadzenie takich rozwiązań może znacząco poprawić jakość produktów końcowych, zwiększyć jednorodność folii wielowarstwowych oraz zoptymalizować proces wytwarzania, co jest istotne w skali przemysłowej. Dodatkowo, badania nad właściwościami mechanicznymi i termicznymi folii, zarówno przed, jak i po procesie starzenia, dostarczają istotnych danych pozwalających ocenić stabilność i trwałość takich materiałów w różnych warunkach eksploatacyjnych. Takie podejście umożliwia lepsze dostosowanie produktu do wymagań rynkowych, takich jak odporność na działanie czynników atmosferycznych, wytrzymałość na rozciąganie czy zachowanie wymaganych parametrów użytkowych przez cały cykl życia produktu. Warto również podkreślić, że podjęte badania mają znaczenie użytkowe i wpisują się w realne potrzeby przemysłu, szczególnie w zakresie zwiększania wykorzystania recyklatów w produkcji wielowarstwowych folii opakowaniowych. Znaczenie tych badań potwierdzają nie tylko założenia GOZ, ale również rosnące wymagania regulacyjne, w tym konieczność zwiększania udziału materiałów z recyklingu w produktach.

Podsumowując, podjęcie badań opisanych w rozprawie doktorskiej było w pełni uzasadnione. Praca dotyczy aktualnych problemów przemysłowych i środowiskowych, oferując praktyczne rozwiązania w obszarze przetwórstwa tworzyw sztucznych. Wyniki badań mają duży potencjał aplikacyjny, a ich realizacja przyczynia się zarówno do rozwoju nauki, jak i wdrażania innowacyjnych rozwiązań w przemyśle.

4. Ocena tytułu rozprawy oraz zgodności tezy i celów z założeniami badawczymi

Tytuł rozprawy doktorskiej „Analiza struktury i właściwości nowo opracowanych folii kompozytowych n-warstwowych, wytwarzanych za pomocą technologii rozdmuchu, wspomaganą precyzyjnym systemem dozowania grawimetrycznego” jest precyzyjny i dobrze odzwierciedla zakres oraz tematykę pracy. W pełni koresponduje z jej treścią, skupiającą się na badaniach nad folią trójwarstwową, co znajduje potwierdzenie zarówno w wynikach badań, jak i w celach przedstawionych w rozprawie.

Teza rozprawy została sformułowana w następujący sposób: „Możliwe jest wytworzenie zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju, trójwarstwowych folii opakowaniowych LDPE typu FFS, metodą rozdmuchu, wspomaganą precyzyjnym systemem dozowania grawimetrycznego, z zastosowaniem regranulatu LDPE i wypełniacza mineralnego, przy zadanych parametrach procesu, zapewniających powtarzalność struktury i oczekiwanych właściwości mechanicznych oraz termicznych folii polimerowych.”

Teza ta jest oczywista, ponieważ w dużej mierze nawiązuje do znanych w literaturze metod wytwarzania folii opakowaniowych. W rzeczywistości, w tego typu rozprawie wystarczyłoby jednoznaczne i precyzyjne wskazanie celu pracy, który zostałby spójnie rozwinięty w toku badań.

Cele rozprawy zostały jasno i logicznie określone. Głównym celem było opracowanie trójwarstwowego kompozytu w formie folii opakowaniowej, który wykazywałby właściwości mechaniczne porównywalne z pierwotnymi tworzywami, tj. wysoką wytrzymałość mechaniczną, odporność na warunki atmosferyczne, dobrą zgrzewalność oraz jednorodność produktu, przy jednoczesnym wykorzystaniu maksymalnej ilości materiałów pochodzących z recyklingu. Autor uzupełnił ten cel o praktyczny aspekt wdrożeniowy, jakim było opracowanie procedur weryfikacji przydatności recyklatów do zastosowań przemysłowych w foliach opakowaniowych typu FFS.

Cele pracy zostały w pełni osiągnięte, co potwierdzają wyniki zaprezentowane w rozprawie. Przedstawione rozwiązania badawcze i opracowana metodologia mają znaczenie zarówno dla rozwoju nauki, jak i dla przemysłu, zwłaszcza w kontekście gospodarki obiegu zamkniętego.

Podsumowując, teza rozprawy, choć oczywista, stanowi solidną podstawę do realizacji badań, natomiast cele pracy zostały precyzyjnie określone i w pełni zrealizowane zgodnie z założeniami badawczymi.

5. Charakterystyka i analiza merytoryczna pracy doktorskiej

Rozdział 1 Pracy Doktorskiej, zatytułowanej "Analiza struktury i własności nowo opracowanych folii kompozytowych n-warstwowych", stanowi wprowadzenie do problematyki badań oraz ich kontekstu naukowego i praktycznego. Autor koncentruje się na wyzwaniach związanych z produkcją tworzyw sztucznych, recyklingiem oraz wdrażaniem zasad gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ). Rozdział w ogólności spełnia swoje zadanie, jasno określając znaczenie podejmowanego tematu, jednakże analiza wskazuje na kilka obszarów możliwych do poprawienia.

Rozdział otwiera logiczne przedstawienie globalnych wyzwań związanych z rosnącą produkcją tworzyw sztucznych i ich negatywnym wpływem na środowisko. Autor wprowadza dane statystyczne, takie jak informacja o łącznej produkcji tworzyw sztucznych wynoszącej 400,3 mln ton w 2022 roku, co podkreśla skalę problemu. Odwołania do celów Unii Europejskiej, takich jak osiągnięcie 55% recyklingu opakowań do 2030 roku, wzmacniają argumentację i nadają pracy wymiar praktyczny. Styl rozdziału jest formalny i odpowiedni dla pracy naukowej, a zastosowana terminologia, dotycząca recyklingu, polimerów oraz GOZ, została poprawnie dobrana. Jednakże, wprowadzenie mogłoby być bardziej szczegółowe w odniesieniu do kluczowych aspektów problemu badawczego. Na przykład, Autor wskazuje na negatywny wpływ regranulatów na strukturę i własności folii, ale nie precyzuje, jakie parametry techniczne są najbardziej narażone na pogorszenie (np. wytrzymałość na rozciąganie, przepuszczalność gazów, jakość zgrzewów). Uszczegółowienie tych kwestii dodałoby rozdziałowi praktycznej głębi.

Wprowadzenie do tematyki gospodarki odpadami, choć poprawne, mogłoby być bardziej rozbudowane. Brakuje informacji o konkretnych wyzwaniach technologicznych związanych z recyklingiem polimerów, takich jak zanieczyszczenie regranulatów czy problematyka rozkładu mas cząstkowych w takich polimerach. Rozdział zyskałby na wartości, gdyby wprowadzono szczegółowe dane i przykłady praktycznie dotyczące trudności w praktycznym wdrażaniu zasad GOZ.

Struktura rozdziału jest poprawna, ale miejscami brakuje hierarchizacji informacji. Analiza globalnych problemów związanych z tworzywami sztucznymi oraz lokalnych wyzwań jak np. niski wskaźnik recyklingu w Polsce, mogłaby być bardziej wyraźna. Wprowadzenie podziału na wyraźne sekcje

mogłoby ułatwić odbiór tekstu. Cele pracy, choć ogólnie określone, mogłyby być bardziej doprecyzowane. Autor wskazuje na zamiar opracowania innowacyjnych trójwarstwowych folii LDPE zawierającej regranulat, ale nie precyzuje, jakie konkretne cechy tych folii mają zostać zoptymalizowane. Wyraźne określenie tych celów pozwoliłoby lepiej zrozumieć znaczenie pracy. Rozszerzenie analizy problemów recyklingu poprzez dodanie szczegółowych informacji na temat wyzwań związanych z jakością regranulatów (np. zanieczyszczenia, niestabilność chemiczna) pogłębiłoby rozumienie problematyki pracy. Po drugie, cele pracy powinny jasno wskazywać, jakie parametry folii są najważniejsze w kontekście przemysłu opakowaniowego, oraz jakie metody badawcze będą zastosowane do oceny tych parametrów. Po trzecie, podział wprowadzenia na dwie części- problemy globalne (np. dane o produkcji i recyklingu tworzyw) oraz lokalne wyzwania- mogłoby uporządkować przedstawione treści. Wprowadzenie przykładów praktycznych, takich jak zastosowania badanych folii w sektorze opakowaniowym lub rolnictwie, pozwoliłoby lepiej zrozumieć kontekst użytkowy wyników pracy. Jest to szczególnie istotne biorąc pod uwagę praktyczny charakter zaprezentowanej rozprawy

Pomimo powyższych uwag należy stwierdzić, że Rozdział 1 stanowi solidne wprowadzenie do problematyki pracy. Dopracowanie struktury, rozbudowanie opisu celów pracy oraz uzupełnienie treści o praktyczne przykłady przyczyniłoby się do wzmocnienia wartości naukowej i przekazu tego rozdziału.

Rozdział 2 Rozprawy doktorskiej, zatytułowany "Przegląd literatury", stanowi szczegółowe omówienie aktualnego stanu wiedzy dotyczącej tworzyw sztucznych, technologii ich przetwarzania oraz problematyki związanej z recyklingiem. Rozdział ten spełnia swoje zadanie jako fundament teoretyczny dla dalszej, badawczej części pracy, jednak jego analiza ujawniła pewne obszary, których dopracowanie wzmocniłoby wartość naukową i praktyczną tej części Pracy.

Rozdział wyróżnia się dokładnością w przywoływaniu literatury naukowej i raportów branżowych. Autor podaje aktualne dane dotyczące produkcji i recyklingu tworzyw sztucznych, przy czym szczególną uwagę poświęca polietylenowi, co jest ściśle związane z tematem pracy. Przegląd technologii produkcji folii polietylenowych, w tym techniki rozdmuchu i zastosowania precyzyjnych systemów dozowania, został przeprowadzony w sposób logiczny i wyczerpujący. Omówienie gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ) w kontekście tworzyw sztucznych dobrze osadza problematykę badawczą w środowisku przemysłowym.

Jednym z głównych niedostatków tego rozdziału jest brak wyraźnego podziału na sekcje hierarchizujące przedstawiane treści. Na przykład, problematyka recyklingu mogłaby zostać wydzielona jako osobna sekcja z podziałem na aspekty technologiczne, ekonomiczne i środowiskowe. Skupienie się na specyficznych wyzwaniach recyklingu polietylenu, takich jak utrata właściwości mechanicznych czy obecność zanieczyszczeń, pozwoliłoby lepiej powiązać literaturę z celami pracy.

Omówienie technologii produkcji folii polietylenowych jest szczegółowe, obejmuje proces rozdmuchu i zastosowanie precyzyjnych systemów dozowania. Prezentacja tej tematyki jest logiczna, ale brak w niej analizy alternatywnych metod, takich jak koekstruzja czy laminacja. Uzupełnienie tego elementu mogłoby wzbogacić tło teoretyczne i wskazać zalety oraz ograniczenia innych technologii w kontekście produkcji folii wielowarstwowych.

Autor wprowadza problematykę recyklingu tworzyw sztucznych, skupiając się na mechanicznych i chemicznych metodach odzysku. Sekcja ta jest poprawna, ale brakuje w niej szczegółów na temat wyzwań technologicznych, takich jak zanieczyszczenie regranulatów, rozkład mas cząsteczkowych czy degradacja właściwości folii wykonanych z materiałów wtórnych. Dodanie konkretnych danych lub przykładów praktycznych zastosowań folii z regranulatem mogłoby znacząco podnieść wartość merytoryczną rozdziału.

Gospodarka obiegu zamkniętego (GOZ) została omówiona w kontekście regulacji prawnych i celów unijnych, co nadaje pracy praktyczny wymiar. Jednak brakuje odniesienia do rzeczywistych barier we wdrażaniu GOZ w sektorze tworzyw sztucznych, szczególnie w Polsce. Rozbudowanie tej sekcji o studia przypadku mogłoby wzbogacić przegląd literatury i nadać mu bardziej kompleksowy charakter.

Struktura rozdziału jest poprawna, ale miejscami brakuje hierarchizacji informacji, co można odebrać jako ukonstytuowany charakter prezentacji myśli przez Autora. Wyodrębnienie poszczególnych sekcji dla technologii produkcji, recyklingu oraz gospodarki obiegu zamkniętego mogłoby ułatwić odbiór treści. Jasno wydzielone podsekcje mogłyby również pomóc w lepszym powiązaniu przeglądu literatury z celami pracy. Ponadto zastosowanie podpunktów lub tabel mogłoby ułatwić przedstawienie danych liczbowych oraz wyników analiz literaturowych.

Oceniany rozdział stanowi solidne tło teoretyczne dla badań przedstawionych w pracy doktorskiej. Jednak rozszerzenie omówienia recyklingu polietylenu, uzupełnienie informacji o alternatywne technologie produkcji oraz rozbudowa sekcji dotyczącej gospodarki obiegu zamkniętego pozwoliłyby na lepsze osadzenie problematyki badawczej w aktualnym kontekście naukowym i przemysłowym. Lepsza organizacja treści i doprecyzowanie argumentacji wzmocniłyby wartość naukową tej części pracy.

Rozdział 3 Pracy Doktorskiej, zatytułowany "Badania własne", stanowi jeden z kluczowych elementów całej rozprawy, prezentując szczegółowo przeprowadzone eksperymenty i metody badawcze. Rozdział ten jest solidnie opracowany i spełnia swoje zadanie jako centralny komponent pracy naukowej, jednak analiza wskazuje na pewne kwestie wymagające uwagi w przyszłych opracowaniach lub kontynuacji badań.

Autor jasno przedstawia cel przeprowadzonych badań, którym jest ocena właściwości mechanicznych, strukturalnych i technologicznych innowacyjnych płyt z materiałów pochodzących z recyklingu. Opis metodyki jest szczegółowy i odpowiednio dokumentuje wykorzystane techniki badawcze, takie jak analiza FTIR, DSC czy SEM, a także testy mechaniczne. Rzetelnie opisano materiały użyte w badaniach, co umożliwi odtworzenie eksperymentów przez inne zespoły badawcze.

Pomimo, że zastosowana metodyka badań została opisana z należytą szczegółowością, jednak brakuje w niej krytycznego podejścia na temat potencjalnych ograniczeń stosowanych metod. Na przykład, wpływ warunków otoczenia podczas przeprowadzania testów mechanicznych mógłby być bardziej szczegółowo omówiony, aby zidentyfikować ewentualne czynniki zakłócające.

Rozdział 3 stanowi solidne i dobrze udokumentowane studium przypadku dotyczące badań innowacyjnych folii z materiałów recyklingowych. Autor wyczerpująco przedstawił procesy badawcze,

wskazując na ich potencjalne znaczenie w kontekście przemysłowym i ekologicznym, choć pewne elementy mogłyby być bardziej szczegółowo rozwinięte.

Rozdział 4 Rozprawy Doktorskiej stanowi kluczowy element pracy, prezentując wyniki badań własnych Autora dotyczących trójwarstwowych folii kompozytowych z dodatkiem materiałów pochodzących z recyklingu. Ta część pracy nie tylko przedstawia dane eksperymentalne, ale również oferuje szczegółową i pogłębioną interpretację wyników w kontekście realizacji założeń badawczych. Stanowi to fundamentalne ogniwo, które łączy aspekty teoretyczne z praktycznymi implikacjami, ukazując potencjał innowacyjnych materiałów w szerokim spektrum zastosowań. Zawarte w rozdziale treści wykazują wysoki poziom merytoryczny, co jest szczególnie istotne zarówno z perspektywy naukowej, jak i zastosowań przemysłowych.

Autor w sposób niezwykle systematyczny i szczegółowy zaprezentował metodologię badań, w tym charakterystykę użytych materiałów, zastosowane techniki badawcze oraz szczegóły przeprowadzonych eksperymentów. Wykorzystano zaawansowane metody analityczne, takie jak FTIR, DSC, XRD, analiza SEM, badania wytrzymałości mechanicznej czy testy sztucznego starzenia, które zostały opisane w sposób precyzyjny i wyczerpujący. Te szczegółowe opisy nie tylko umożliwiają odtworzenie badań przez inne zespoły badawcze, ale także zwiększają wiarygodność uzyskanych wyników. Kluczowym elementem badań jest analiza wpływu dodatku regranulatu na strukturę oraz własności mechaniczne folii. Autor podjął się szczegółowej oceny zmian, uwzględniając ich znaczenie dla potencjalnych zastosowań, zwłaszcza w przemyśle opakowaniowym.

Prezentacja wyników została starannie zaplanowana i wzbogacona licznymi tabelami, wykresami oraz mikrofotografiami. To nadaje pracy przejrzystość i ułatwia odbiór danych eksperymentalnych, nawet dla czytelników spoza wąskiego kręgu specjalistów w tej dziedzinie. Szczególną uwagę zwraca analiza zmian własności mechanicznych folii przed i po procesie sztucznego starzenia. Wyniki wyraźnie wskazują, że odpowiedni dobór mieszanek surowców oraz optymalizacja procesu technologicznego mogą skutecznie ograniczyć negatywne skutki stosowania regranulatów. Autor słusznie zauważa, że pomimo pewnych ograniczeń w własnościach mechanicznych, tego rodzaju materiały mają realny potencjał w aplikacjach o mniejszych wymaganiach, takich jak opakowania jednorazowe lub elementy techniczne o umiarkowanych obciążeniach mechanicznych. Tego typu wnioski są szczególnie cenne dla przemysłu opakowaniowego oraz innych sektorów poszukujących bardziej zrównoważonych rozwiązań materiałowych.

Pomimo wysokiego poziomu opracowania, pewne aspekty mogłyby zostać rozwinięte bardziej szczegółowo. Na przykład analiza chemiczna zmian w strukturze molekularnej mogłaby dostarczyć bardziej wszechstronnej wiedzy na temat mechanizmów odpowiadających za obserwowane zmiany własności mechanicznych folii. Rozszerzenie tego typu badań mogłoby dodatkowo wzmocnić argumentację Autora, szczególnie w kontekście procesów degradacyjnych zachodzących podczas przetwarzania materiałów recyklingowych. Również interpretacja wyników mogłaby zostać wzmocniona poprzez szersze odniesienia do literatury, co pozwoliłoby na lepsze osadzenie wyników w dotychczasowym stanie wiedzy naukowej oraz podkreślenie nowatorskości podjętych badań.

Warto również podkreślić, że rozdział dostarcza ważnych danych dotyczących trwałości materiałów w kontekście procesów starzeniowych. Analiza wyników dotyczących wytrzymałości mechanicznej, odporności na czynniki środowiskowe oraz stabilności chemicznej materiałów po procesie starzenia

może stanowić cenną podstawę do dalszych badań nad ulepszeniem składu mieszanek oraz procesów produkcyjnych. Wyniki te mają istotne znaczenie nie tylko dla przemysłu, ale także dla rozwoju bardziej ekologicznych technologii opakowaniowych, co wpisuje się w założenia gospodarki obiegu zamkniętego.

Rozdział ten stanowi kompleksową i solidnie udokumentowaną podstawę naukową, łączącą szczegółowe badania z ich praktycznymi implikacjami. Autor przedstawił wyniki w sposób niezwykle klarowny i rzetelny, co pozwala na ich szerokie wykorzystanie zarówno w przemyśle, jak i jako bazę do dalszych badań naukowych. Interpretacja wyników oraz wyciągnięte wnioski dowodzą, że praca wnosi istotny wkład w rozwój technologii recyklingu i projektowania wielowarstwowych folii kompozytowych. Mimo że istnieje przestrzeń do pogłębienia niektórych analiz, całość w pełni spełnia wymogi rozprawy doktorskiej na najwyższym poziomie, dostarczając cennych danych dla przyszłych badań w tej dziedzinie.

Rozdział 5 pracy doktorskiej, zatytułowany "Wdrożenie", stanowi kompleksowe podsumowanie uzyskanych wyników badań oraz przedstawia potencjalne możliwości implementacji opracowanych rozwiązań w szeroko pojętym przemyśle. Jest to ważny element rozprawy, łączący zaawansowaną analizę naukową z rzeczywistymi potrzebami i wymaganiami współczesnego branży przetwórstwa tworzyw sztucznych. Rozdział ten wyraźnie podkreśla znaczenie zastosowań trójwarstwowych folii kompozytowych z dodatkiem regranulatów, ukazując ich potencjał w kontekście realizacji założeń gospodarki obiegu zamkniętego oraz promowania zrównoważonego rozwoju w przemyśle opakowaniowym i poza nim. Autor w sposób kompleksowy i szczegółowy omówił proces adaptacji wyników badań do rzeczywistych warunków przemysłowych. Wskazano konkretne obszary zastosowań opracowanych folii, takie jak opakowania jednorazowe, folie techniczne, a także produkty rolnicze, gdzie kluczowe znaczenie mają ich parametry mechaniczne, strukturalne i użytkowe. W pracy podkreślono, że opracowane materiały z dodatkiem regranulatów mogą efektywnie zastąpić tradycyjne surowce, jednocześnie spełniając wymagania techniczne oraz ekologiczne. Szczególną uwagę zwrócono na optymalizację procesu produkcji, w tym kontrolę homogenizacji mieszanki surowcowej oraz minimalizację degradacji własności mechanicznych podczas przetwarzania, co jest jednym z kluczowych wyzwań przy pracy z materiałami wtórnymi.

Opis wdrożenia został wzbogacony szczegółowymi analizami ekonomicznymi, które wykazały potencjalne oszczędności wynikające z wykorzystania regranulatów w porównaniu z pierwotnymi surowcami. Autor trafnie zauważył, że odpowiednie dostosowanie parametrów technologicznych może nie tylko obniżyć koszty produkcji, ale również znacząco zmniejszyć ślad węglowy procesu wytwarzania folii. Jest to szczególnie istotne w kontekście rosnących wymagań regulacyjnych i oczekiwań konsumentów, dla których zrównoważony rozwój staje się priorytetowy. Analizy te zostały zaprezentowane w sposób przejrzysty, co dodatkowo zwiększa praktyczną użyteczność wyników badań w warunkach przemysłowych.

Rozdział zawiera także szczegółową analizę barier wdrożeniowych, takich jak jakość dostępnych regranulatów oraz konieczność dostosowania linii produkcyjnych do pracy z materiałami wtórnymi. Autor zwrócił uwagę na kluczowe wyzwania związane z utrzymaniem stabilności parametrów produkcyjnych oraz zapewnieniem odpowiedniej jakości produktów końcowych. W pracy przedstawiono konkretne propozycje rozwiązań tych problemów, takie jak zastosowanie



zaawansowanych systemów monitorowania procesu oraz wprowadzenie standardów jakościowych dla regranulatów. Autor zauważył, że ujednoczenie wymagań jakościowych dla materiałów wtórnych mogłoby znacząco przyspieszyć ich implementację w szerokim zakresie zastosowań przemysłowych, jednocześnie zwiększając ich wartość wśród potencjalnych użytkowników. Pomimo wysokiego poziomu opracowania, istnieją obszary, które mogłyby zostać bardziej szczegółowo rozwinięte. Na przykład analiza wpływu parametrów przetwarzania na długoterminową trwałość i degradację mechanicznych oraz chemicznych właściwości folii mogłaby dostarczyć dodatkowych informacji, szczególnie w kontekście długotrwałego użytkowania w zmiennych warunkach środowiskowych. Również rozwinięcie scenariuszy wdrożeniowych w innych sektorach przemysłowych, takich jak budownictwo czy motoryzacja, mogłoby znacząco poszerzyć potencjalne obszary zastosowań opracowanych technologii.

Omawiany rozdział stanowi spójną i merytoryczną analizę praktycznych aspektów badań, wskazując na realne możliwości implementacji opracowanych rozwiązań w przemyśle. Autor wykazał się dogłębną znajomością problematyki i umiejętnie zidentyfikował potrzeby współczesnego rynku oraz wymagania stawiane technologiom zrównoważonym. Wyniki badań zostały przedstawione w sposób wyczerpujący, jednocześnie wskazując na potencjalne kierunki dalszego rozwoju technologii recyklingu i zastosowań wielowarstwowych folii kompozytowych. Rozdział ten skutecznie łączy zaawansowane podstawy teoretyczne z ich praktycznymi implikacjami, co podkreśla jego znaczenie zarówno w kontekście naukowym, jak i wdrożeniowym. Praca wnosi istotny wkład w rozwój technologii recyklingu oraz w zrównoważone podejście do projektowania i użytkowania materiałów wielowarstwowych, w pełni spełniając wymogi stawiane rozprawom doktorskich najwyższej jakości.

Rozdział 6 pracy doktorskiej stanowi zwięźlenie całości przeprowadzonych badań i ich analizy. Jest to szczególnie ważny fragment pracy, gdyż umożliwił syntetyczne przedstawienie osiągniętych wyników, ich znaczenia w kontekście naukowym oraz praktycznym, a także zarysowanie potencjalnych kierunków dalszych badań. Rozdział ten spełnia kluczową rolę w podsumowaniu wkładu naukowego Autora oraz w ocenie przydatności aplikacyjnej przedstawionych rozwiązań. Autor w sposób przejrzysty i logiczny zsyntetyzował kluczowe wnioski wynikające z badań nad trójwarstwowymi foliami kompozytowymi z dodatkiem materiałów pochodzących z recyklingu. Podkreślono, że odpowiedni dobór składu mieszanek surowcowych oraz optymalizacja parametrów technologicznych pozwalały na zachowanie dobrych właściwości mechanicznych i strukturalnych folii, przy jednoczesnym uwzględnieniu wymagań ekologicznych i ekonomicznych. Wyniki badań wyraźnie wskazują, że zastosowanie regranulatów może być skuteczną alternatywą dla pierwotnych surowców w wielu zastosowaniach przemysłowych, co ma kluczowe znaczenie w kontekście gospodarki obiegu zamkniętego. W rozdziale Autor skutecznie podkreśla wkład naukowy pracy, wskazując na oryginalność podejścia badawczego oraz znaczenie uzyskanych wyników w obszarze technologii przetwórstwa tworzyw sztucznych. Wnioski dotyczące struktury, właściwości mechanicznych oraz trwałości folii zostały poparte rzetelną analizą wyników doświadczeń, co dodatkowo wzmacnia wiarygodność wyciągniętych konkluzji. Na szczególną uwagę zasługuje wskazanie potencjalnych aplikacji badanych folii w sektorze opakowaniowym, technicznym oraz rolniczym, co podkreśla ich uniwersalność oraz szerokie możliwości wdrożeniowe. W rozdziale tym Autor również wskazuje na ograniczenia przeprowadzonych badań oraz proponuje konkretne kierunki dalszych prac naukowych. Jest to wyraźny dowód świadomości badawczej Autora oraz umiejętności krytycznego spojrzenia na

własne osiągnięcia. Wskazano, że dalsze badania mogłyby koncentrować się na optymalizacji procesów produkcyjnych z uwzględnieniem zmiennych warunków środowiskowych, a także na ocenie długoterminowej trwałości folii w warunkach eksploatacyjnych. Pomimo wysokiego poziomu merytorycznego rozdziału, pewne elementy mogłyby zostać bardziej szczegółowo rozwinięte. Przykładowo, warto byłoby bardziej szczegółowo przeanalizować porównanie wyników uzyskanych przez autora z wynikami literaturowymi, co mogłoby dodatkowo podkreślić oryginalność i nowatorskość podejścia badawczego. Ponadto, wnioski dotyczące wdrożenia mogłyby być bardziej rozbudowane, z uwzględnieniem potencjalnych trudności technologicznych oraz ekonomicznych związanych z implementacją w skali przemysłowej. Przedmiotowy rozdział w pełni spełnia swoje zadanie jako zwieńczenie pracy doktorskiej. Autor skutecznie przedstawił najważniejsze wnioski wynikające z badań, wskazując na ich wartość naukową i praktyczną. Rozdział ten łączy rzetelną analizę wyników z refleksją nad dalszym rozwojem badań w obszarze tworzyw sztucznych, co świadczy o wysokiej świadomości badawczej Autora.

Rozdział 7 Rozprawy Doktorskiej, zatytułowany "Wnioski", stanowi podsumowanie pracy, w którym autor syntetyzuje najważniejsze rezultaty badań, ich znaczenie naukowe i praktyczne oraz wskazuje możliwe kierunki dalszych badań. Struktura wniosków jest logiczna, a ich prezentacja klarowna, co ułatwia ocenę rezultatów oraz zrozumienie najistotniejszych osiągnięć wynikających z przeprowadzonych badań. W szczególności należy docenić podkreślenie praktycznego znaczenia wyników, zwłaszcza w kontekście potencjalnego zastosowania trójwarstwowych folii kompozytowych z dodatkiem regranulatów w przemyśle opakowaniowym, technicznym oraz rolniczym. Wskazanie konkretnych możliwości wdrożenia opracowanych rozwiązań stanowi ważny aspekt tej części pracy, podkreślając jej praktyczną użyteczność.

Autor zwrócił uwagę na potencjalne ograniczenia technologiczne związane z wprowadzeniem regranulatów do mieszanek surowcowych, które mogą prowadzić do obniżenia trwałości mechanicznej i stabilności chemicznej folii. Świadomość tych wyzwań i wskazanie sposobów ich minimalizacji poprzez odpowiednią optymalizację parametrów technologicznych jest istotnym atutem. Ważnym elementem wniosków jest również uwzględnienie ekologicznych oraz ekonomicznych korzyści wynikających z zastosowania materiałów wtórnych, co wpisuje się w założenia gospodarki obiegu zamkniętego oraz promuje zrównoważony rozwój w sektorze tworzyw sztucznych.

Pomimo wyraźnych zalet, rozdział zawiera pewne niedociągnięcia, które ograniczają jego wartość naukową. Wnioski są momentami zbyt ogólne i nie w pełni oddają złożoność przeprowadzonych badań. Autor mógł bardziej szczegółowo omówić kluczowe parametry techniczne badanych folii, takie jak współczynnik tarcia, przepuszczalność gazów czy odporność na procesy starzenia, co wzbogaciłoby wnioski o bardziej szczegółową analizę. Ponadto brak odniesień do literatury sprawia, że trudno osadzić uzyskane wyniki w szerszym kontekście naukowym i jednoznacznie ocenić ich nowatorskość na tle dotychczasowych badań. Rozwinięcie porównań z wynikami innych autorów mogłoby istotnie zwiększyć wiarygodność i znaczenie wniosków.

Kolejnym obszarem mogącym ulec poprawie jest niewystarczające rozwinięcie propozycji dalszych badań. Choć Autor wskazuje na potrzebę analizy trwałości folii w warunkach rzeczywistych, nie podaje szczegółowych sugestii dotyczących metodologii ani potencjalnych wyzwań, które należałoby

uwzględnić w przyszłych projektach badawczych. Bardziej precyzyjne propozycje dalszych działań mogłyby stanowić cenne wskazówki dla przyszłych prac w tym obszarze.

Przedstawione wnioski spełniają swoje zadanie jako podsumowanie pracy doktorskiej, uwypuklając jej najważniejsze osiągnięcia oraz wskazując na ich potencjalne znaczenie praktyczne. Klarowność i uporządkowanie wniosków to silne strony tej części rozprawy. Niemniej jednak, brak szczegółowości w analizie wyników ogranicza pełne wykorzystanie potencjału przeprowadzonych badań.

Literatura wykorzystana w recenzowanej Pracy Doktorskiej charakteryzuje się szerokim zakresem źródeł, zarówno naukowych, jak i normatywnych, co wskazuje na dogłębną analizę tematu oraz próbę ujęcia go w sposób wieloaspektowy. Bibliografia obejmuje publikacje z różnych obszarów nauki, takich jak chemia polimerów, technologia przetwórstwa tworzyw sztucznych oraz recykling, co zapewnia szeroki kontekst dla omawianych zagadnień. Uwzględniono w niej zarówno źródła książkowe, jak i artykuły z czasopism naukowych, takich jak "Polimery" i "Przemysł Chemiczny", a także normy techniczne. Dodatkowo, Autor odnosi się do literatury dotyczącej gospodarki obiegu zamkniętego oraz nowoczesnych technologii recyklingu, co podkreśla aktualność analizowanych problemów oraz ich znaczenie w kontekście współczesnych wyzwań przemysłowych i środowiskowych. Integracja literatury z treścią pracy wspiera interpretację wyników oraz formułowanie wniosków, co świadczy o odpowiedzialnym podejściu Autora do analizy źródeł.

Szczególnie wartościowe jest wykorzystanie norm technicznych w kontekście opisu metodyki badań. Odwołania do norm wskazują na próbę osadzenia przeprowadzonych badań w ustandaryzowanych ramach, co zwiększa ich wiarygodność i powtarzalność. Dzięki temu Autor stworzył solidne podstawy metodologiczne, które mogą stanowić wzór dla przyszłych badań w tej dziedzinie. Warto również zwrócić uwagę na różnorodność cytowanych źródeł, które obejmują zarówno podstawowe opracowania teoretyczne, jak i badania aplikacyjne, co zapewnia pełniejsze ujęcie analizowanego zagadnienia.

Jednak analiza literatury wskazuje również na pewne obszary wymagające poprawy i uzupełnienia. Część cytowanych źródeł pochodzi z lat 80. i 90., co może ograniczać ich przydatność w świetle dynamicznego rozwoju technologii polimerowych. Dodanie najnowszych publikacji, szczególnie tych z ostatnich pięciu lat, wzbogaciłoby kontekst badawczy pracy, uwzględniając aktualne trendy i nowatorskie podejścia w zakresie recyklingu oraz degradacji materiałów polimerowych. Szczególnie w kontekście szybko rozwijających się technologii wielowarstwowych folii kompozytowych, aktualizacja bibliografii o wyniki najnowszych badań międzynarodowych mogłaby znacząco podnieść wartość naukową pracy.

Niesatysfakcjonujące uwzględnienie literatury międzynarodowej stanowi kolejną lukę w bibliografii. Chociaż autor korzysta z zagranicznych źródeł, takich jak prace Hopewella i publikacje American Chemical Society, reprezentacja literatury globalnej wydaje się zbyt ograniczona, co może wpływać na możliwości osadzenia wyników pracy w szerszym kontekście międzynarodowym. Dodatkowo, włączenie wyników badań prowadzonych w wiodących ośrodkach badawczych np. niemieckich mogłoby przyczynić się do wzbogacenia argumentacji i lepszego podkreślenia nowatorskości omawianych rozwiązań.

Istotnym mankamentem cytowanej literatury jest także brak krytycznego podejścia do wykorzystanych źródeł. Przeważają odniesienia opisowe, natomiast niewystarczająca jest szczegółowa analiza porównawcza wyników, która mogłaby wskazać luki badawcze oraz uzasadnić wybór zastosowanej metodologii. Na przykład, bardziej szczegółowe porównanie wyników badań Autora z rezultatami innych badaczy mogłoby pomóc w lepszym osadzeniu pracy w aktualnym stanie wiedzy oraz uwypuklić jej wkład naukowy.

Literatura wykorzystana w Rozprawie Doktorskiej jest różnorodna i dobrze dobrana, co stanowi silny fundament teoretyczny dla analizowanego tematu. Niemniej jednak aktualizacja źródeł o najnowsze publikacje, szczególnie z międzynarodowych czasopism naukowych, oraz wzmocnienie krytycznego podejścia do analizy literatury mogłyby znacząco podnieść jakość tej części pracy. Autor skutecznie zintegrował literaturę z treścią pracy, co świadczy o jej starannym doborze, ale istnieje przestrzeń do dalszego doskonalenia bibliografii. Szczególnie w kontekście globalnego stanu wiedzy uzupełnienie tych elementów mogłoby wzmocnić naukowy charakter pracy i podkreślić jej znaczenie w rozwoju technologii recyklingu oraz przetwórstwa tworzyw sztucznych.

Podsumowując powyższe, można stwierdzić, że analiza poszczególnych rozdziałów pracy doktorskiej wykazała, że Autor z powodzeniem zastosował logiczną strukturę, która pozwala na spójne przedstawienie problematyki badawczej. Treści zostały starannie dobrane, obejmując wprowadzenie w kontekst naukowy i praktyczny, szczegółowy przegląd literatury, kompleksowe badania własne oraz propozycje wdrożeniowe. Autor w sposób przejrzysty przedstawia tematykę badań, odwołując się do istotnych zagadnień naukowych i praktycznych. Całość pracy charakteryzuje się wysokim poziomem merytorycznym, co znajduje odzwierciedlenie w szczegółowym przedstawieniu problematyki, rzetelnej analizie literatury oraz dobrze zaplanowanych badaniach własnych. Przedstawione treści jasno podkreślają znaczenie podejmowanego tematu, łącząc solidne podstawy teoretyczne z praktycznymi implikacjami i potencjalnym zastosowaniem wyników w przemyśle.

6. Uwagi szczegółowe do pracy doktorskiej

1. Str. 10. Autor używa sformułowania „...topią się i płyną[...]”. Stosowanie pojęcia „topienie” w odniesieniu do tworzyw termoplastycznych jest zasadne tylko w bardzo wąskim zakresie przypadków, nieobejmujących większości procesów technologicznych. Należy używać określenia „uplastycznia się”. Uplastycznienie bowiem odnosi się do zmiany właściwości materiału pod wpływem ciepła, gdzie polimery stają się bardziej plastyczne i formowalne, ale nadal zachowują pewną kohezję strukturalną, nie przekształcając się całkowicie w ciecz.
2. Str. 10 Autor określa „polimery termoutwardzalne (duroplasty)”, co wymaga doprecyzowania, ponieważ pojęcie duroplastów jest szersze i obejmuje również tworzywa utwardzane pod wpływem innych czynników, takich jak reakcje chemiczne (chemoutwardzalne) czy promieniowanie UV. Termoutwardzalność jest tylko jednym z mechanizmów tworzenia trwałej, trójwymiarowej sieci wiązań w duroplastach.

3. Str. 13 „na wyłaczarkach jednowarstwowych bądź wielowarstwowych”. Nie istnieją takie urządzenia. Autorowi zapewne chodziło o linie do wyłaczania folii jednowarstwowej i wielowarstwowej.
4. Str. 15 „inteligentne systemy”. Termin ten używany w kontekście systemów elektronicznych, wykorzystujących algorytmy uczenia maszynowego jest błędny z wielu powodów. Sugeruje, że te systemy posiadają inteligencję porównywalną do ludzkiej, co jest niewłaściwe, ponieważ działają one na zasadzie przetwarzania danych i wykonywania zaprogramowanych zachowań, a nie na podstawie samodzielnej świadomości czy rozumowania. Używanie tego terminu może ponadto prowadzić do niewłaściwych oczekiwań co do ich rzeczywistych możliwości. Dlatego bardziej odpowiednie i precyzyjne byłoby opisywanie tych systemów jako „systemy oparte na uczeniu maszynowym” lub „systemy automatyzacji procesowej z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego”, co dokładniej odzwierciedla ich rzeczywiste funkcje i zakres możliwości, unikając przypisywania im cech ludzkiej inteligencji.
5. Str. 19 „plastikowe wyspy”. Użycie w pracy naukowej słowa „plastik” w odniesieniu do tworzywa polimerowego jest niedopuszczalne. W tym znaczeniu jest to słowo potoczne, kalka językowa, której nie należy używać.
6. Str. 26 „dzień dzisiejszy”. Błąd językowy
7. W wielu miejscach Autor stosuje jednostkę masowego wskaźnika szybkości płynięcia dg/10min, podczas gdy norma przedmiotowa określa, że jednostką jest g/10min. Może to komplikować analizę wyników, ponieważ jednostka dg/10min jest niezgodna z obowiązującą normą i nie znajduje uzasadnienia w opisywanych wartościach masowego wskaźnika szybkości płynięcia.
8. W wielu miejscach Autor niewłaściwie opisuje zmiany charakterystyk materiału. Pisze o „spadku wydłużenia przy zerwaniu” czy sugeruje „pogorszenie gęstości”. Wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie względne przy zerwaniu itd. nie mogą ani się wznieść, ani tym bardziej spadać, nie są istotami żywymi, które mogą rosnąć. Zmianom podlegają wyłącznie ich wartości. Podobnie, charakterystyki nie mogą się pogarszać ani polepszać.
9. Przy podawaniu wartości temp. mięknięcia badanej metodą Vicata Autor nie precyzuje metody badania np. A50, B120. Brak tego rodzaju informacji wprowadza niejednoznaczność i generuje pole do domysłów, ponieważ różne warianty tej metody różnią się zastosowanym obciążeniem i szybkością nagrzewania, co bezpośrednio wpływa na uzyskiwane wyniki. W efekcie może to generować pole do domysłów i ogranicza precyzję prezentacji wyników.
10. Str. 38 „Parametry temperaturowe”. Powinno być: „Temperatury stref”.
11. W wielu miejscach Autor nie podaje datowania wykorzystanych norm. Datowanie norm w publikacjach naukowych pełni ważną rolę. Podanie daty wydania normy pozwala czytelnikom ocenić, według jakiej metodyki przeprowadzone zostały badania. Jest to szczególnie ważne, biorąc pod uwagę liczbę dokonanych w ostatnich latach zmian w normach przedmiotowych z obszaru tworzyw sztucznych. Dokładne datowanie norm w badaniach naukowych podnosi tym samym wiarygodność publikacji. Ponadto, precyzyjne wskazanie, które wersje norm były użyte, jest kluczowe dla możliwości powtórzenia i porównania badań przez inne zespoły badawcze.

Wymienione powyżej błędy mają charakter marginalny i nie wpływają w znaczący sposób na ogólną ocenę pracy. Nie ograniczają jej czytelności ani nie utrudniają analizy opisanych badań i uzyskanych wyników, które zostały przedstawione w sposób rzetelny i przejrzysty. Błędy te mają głównie charakter terminologiczny lub redakcyjny. Pomimo tych drobnych niedociągnięć, zasadnicza wartość naukowa pracy pozostaje niekwestionowana. W mojej ocenie wynikają one przede wszystkim z faktu, że Autor, będąc praktykiem związanym na co dzień z przemysłem, przeniósł do Rozprawy Doktorskiej pewne elementy języka potocznego, co jest naturalnym zjawiskiem w przypadku osób z dużym doświadczeniem przemysłowym, ale mniejszym doświadczeniem w tworzeniu tekstów naukowych.

7. Uwagi krytyczne i pytania do pracy doktorskiej

Praca doktorska wnosi istotny i wartościowy wkład Doktoranta w rozwój technologii przetwórstwa tworzyw polimerowych, szczególnie w kontekście zastosowania recyklatów w foliach wielowarstwowych. Niemniej jednak, analiza pracy ujawnia pewne kwestie wymagające doprecyzowania lub dodatkowego omówienia, a mianowicie:

1. Opis wykorzystanych regranulatów zaprezentowany w pracy jest niesatysfakcjonujący. Czy Autor mógłby precyzyjniej scharakteryzować wykorzystane w pracy recyklaty? Skąd pochodziły, czy były to nawroty technologiczne, czy zostały pozyskane np. z selektywnej zbiórki odpadów, w jaki sposób zostały oczyszczone i w jakich warunkach zregranulowane, jaki był udział zanieczyszczeń/napełniaczy mineralnych w regranulatach? Jakimi właściwościami mechanicznymi i przetwórczymi charakteryzowały się te materiały?
2. Godne pochwały jest wykorzystanie przez Autora wielu zaawansowanych metod badawczych w tym np. analizy FTIR. Dlaczego Autor nie zdecydował się na przedstawienie wartości indeksu karbonylowego przynajmniej dla wykorzystanych w badaniach recyklatów? Zastosowanie indeksu karbonylowego w pracy doktorskiej pozwoliłoby na ocenienie stopnia ich degradacji, co z kolei dałoby przyczynek do pełniejszej analizy uzyskanych w kolejnych etapach realizacji prac badawczych wyników, zwłaszcza próbek starzonych, dostarczając dodatkowych informacji na temat badanych materiałów.
3. Co zdecydowało, że Doktorant przeprowadził badania właściwości mechanicznych zgodnie z metodyką normy PN-EN 12311- 2:2013-07? Metodyka tej normy precyzuje sposób określania właściwości mechanicznych przy rozciąganiu wyrobów z tworzyw sztucznych i kauczuku przeznaczonych do izolacji wodochronnej dachów. Dlaczego nie wykorzystano prawidłowej metodyki, dedykowanej badaniu folii, czyli normy PN-EN ISO 527-3:2019-01 Tworzywa sztuczne- Oznaczanie właściwości przy rozciąganiu- Część 3: Warunki badań folii i płyt. Czym podyktowane było wykorzystanie próbek wiosełkowych zamiast pasków w czasie prowadzonych badań?
4. Autor w swojej pracy wspominał o trudnościach związanych z przygotowaniem próbek do badań mikroskopowych. Można przypuszczać, że podobne problemy wystąpiły podczas wycinania próbek wiosełkowych, które były wykorzystywane w badaniach mechanicznych. W związku z tym, w jaki sposób próbki te zostały przygotowane, aby zapewnić ich odpowiednią jakość i powtarzalność. Jak kontrolowano stan brzegów próbek, które mogą znacząco wpływać na wyniki badań mechanicznych? Za pomocą jakiej metody określano odkształcenie próbek?

5. Autor słusznie stwierdził, że część zaobserwowanych zmian wartości charakterystyk folii po starzeniu może być skutkiem oddziaływania nie ciepła, a nie tylko czynników prodegradacyjnych (promieniowanie UV, tlen atmosferyczny), których działanie katalizowane było w podwyższonej temperaturze. Trudno więc ocenić w jakim stopniu każdy z czynników wpływał na starzoną folię. Jest to istotne biorąc pod uwagę, że reakcje związane z degradacją polimeru pod wpływem promieniowania UV, tlenu i działaniem ciepła mogą w pewnych warunkach prowadzić do antagonistycznych efektów np. depolimeryzacja prowadzi do zmniejszenia masy cząsteczkowej, co niekorzystnie wpływa na wartości charakterystyk mechanicznych, jednak krótsze łańcuchy polimerowe uzyskują w podwyższonej temperaturze zdolność łatwiejszej krystalizacji, która umożliwia częściowe zniwelowanie tego efektu. Czy zatem nie było celowe przeprowadzenie dodatkowej ekspozycji próbek folii jedynie w narażeniu na działania energii cieplnej oraz energii cieplnej i tlenu atmosferycznego i na tej podstawie podjęcie próby oceny stabilności wartości charakterystyk wyrobu?
6. Dlaczego Autor twierdzi, że wyższa wartość masowego wskaźnika szybkości płynięcia wskazuje, że dany materiał jest bardziej miękki i elastyczny? Masowy wskaźnik szybkości płynięcia jest parametrem określającym, jak łatwo uplastyczniony polimer przepływa pod określonym ciśnieniem, w określonej temperaturze przez ściśle zdefiniowaną geometrycznie dyszę i jest odwrotnie proporcjonalny do lepkości molekularnej polimeru. Zatem, wyższy MFI wskazuje na niższą lepkość. Jednakże, przekładanie niższej lepkości na większą miękkość i elastyczność nie zawsze jest jednoznaczne. Elastyczność i miękkość materiałów polimerowych zależą od szeregu czynników, w tym od ich struktury chemicznej, stopnia krystaliczności oraz sposobu modyfikacji, takich jak dodatki uszlachetniające czy kopolimeryzacja. Dlatego niższa lepkość nie musi oznaczać bezpośrednio, że materiał będzie bardziej elastyczny.
7. W przypadku złożonych, wielomateriałowych i warstwowych produktów jakimi są opisywane folie, kluczowe znaczenie dla ich jakości ma homogeniczność materiału. Cecha ta oceniana może być pośrednio na podstawie wyników i ich rozrzutu uzyskanych w innych badaniach. Jednak możliwe jest również bezpośrednie potwierdzenie jednorodności wytworzonego materiału czy produktu metodami instrumentalnymi. Czy Autor nie uważa, że celowe byłoby przeprowadzenie badań uzyskanych folii np. metodą DMA? Badania takie mogłyby być również bardzo cenne dla oceny zachowania folii pod wpływem zmiennych temperatur, na które narażone są opakowania. Dodatkowo, DMA umożliwia identyfikację i ocenę subtelnych zmian w zachowaniu materiału, które mogą nie być widoczne podczas tradycyjnych testów mechanicznych. Na przykład, analiza DMA może ujawnić różnice w zachowaniu materiału na poziomie mikrostrukturalnym co daje możliwość monitorowania procesu starzenia się materiału.
8. Dlaczego w programie badań nie uwzględniono żadnej receptury zawierającej kompatybilizator? Kompatybilizatory, takie jak PE-G-MA (ang. Polyethylene-grafted-Maleic Anhydride), są szeroko stosowane w przetwórstwie tworzyw napełnianych, np. frakcjami mineralnymi lub biomasą, ze względu na ich zdolność do poprawy jednorodności materiału oraz właściwości mechanicznych i przetwórczych. Mimo że zastosowanie kompatybilizatora wiąże się z wyższymi kosztami produkcji, potencjalne korzyści, takie jak poprawa jakości finalnego produktu czy stabilność parametrów, mogą przewyższać związane z tym nakłady finansowe. Uwzględnienie kompatybilizatora w badaniach pozwoliłoby również na przeprowadzenie analizy ekonomicznej, która określiłaby stosunek kosztów do uzyskanych korzyści. Czy Autor mógłby wyjaśnić powody

pominięcia tego aspektu w programie badawczym oraz wskazać, czy w przyszłości planowane jest uwzględnienie tego elementu i przeprowadzenie stosownych kalkulacji?

9. Jakie Autor postrzega możliwość przemysłowej aplikacji uzyskanych wyników? Opisane w rozprawie wdrożenie obejmowało wyprodukowanie i przetestowanie jedynie niewielkich partii folii z udziałem jednorodnych recyklatów o doskonale przebadanych charakterystykach. W przypadku produkcji przemysłowej konieczne jest wykorzystywanie znacznie większych partii recyklatu. Dostępne handlowo recyklaty cechują się zmiennymi właściwościami i jakością, nawet dla partii o wielkości kilku ton. To w przypadku kostrudowanych folii prowadzić może do pogorszenia ich jakości, znacząco utrudnić proces produkcyjny, a nawet prowadzić do jego periodycznego przerywania. W jaki zatem sposób Autor zamierza wykorzystywać recyklaty w procesie produkcyjnym? Jakiego typu recyklaty, z jakiego źródła i w jaki sposób przygotowane będą odpowiednie surowce do zastosowania przy produkcji folii wielowarstwowej? Jaki sposób kontroli właściwości recyklatu zdaniem Autora będzie odpowiedni w celu zapewnienia satysfakcjonującej jakości produktu finalnego?

8. Podsumowanie i wniosek końcowy

Na podstawie szczegółowej analizy przedłożonej mi rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Glińskiego, zatytułowanej *„Analiza struktury i właściwości nowo opracowanych folii kompozytowych n-warstwowych, wytwarzanych za pomocą technologii rozdmuchu, wspomaganą precyzyjnym systemem dozowania grawimetrycznego”*, stwierdzam, że praca spełnia wszystkie wymagania formalne i merytoryczne stawiane rozprawom doktorskim. Doktorant wykazał się wysokim poziomem dojrzałości naukowej, co znajduje odzwierciedlenie w umiejętności precyzyjnego formułowania problemów badawczych, właściwego doboru metod analitycznych oraz szczegółowej interpretacji uzyskanych wyników. Praca charakteryzuje się spójnością strukturalną, logicznie przeprowadzonym wywodem oraz znaczącym wkładem Autora w rozwój technologii przetwórstwa tworzyw polimerowych, szczególnie w kontekście zastosowania materiałów z recyklingu. Wykorzystanie zaawansowanych metod badawczych, w połączeniu z ich praktycznym zastosowaniem, świadczy o gotowości Doktoranta do prowadzenia samodzielnych badań naukowych oraz do dalszego rozwoju w tej dziedzinie. Uwzględniając jakość przeprowadzonych badań, wartość poznawczą wyników oraz ich potencjalne znaczenie użytkowe, uważam, że praca powinna zostać dopuszczona do publicznej obrony.

Rozprawa spełnia wszystkie wymogi stawiane pracom doktorskim, wynikające z przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późniejszymi zmianami). W związku z powyższym wnioskuję o umożliwienie Panu mgr. inż. Tomaszowi Glińskiemu przystąpienia dalszych etapów procedury przewodu doktorskiego i publicznej obrony jego rozprawy doktorskiej.


dr hab. inż. Jerzy Korol, prof. GIG-PIB