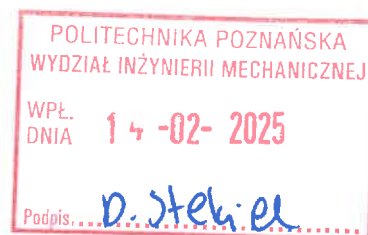


Dr hab. inż. Tomasz Garbacz, prof. uczelni
Katedra Technologii i Przetwórstwa
Tworzyw Polimerowych
Politechnika Lubelska

Lublin 10.02.2025 r.



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Szymczaka pt.

**„Opracowanie receptury oraz technologii produkcji folii poliestrowej typu APET
o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych,
z wykorzystaniem maksymalnej ilości surowców wtórnych PET”**

Recenzję opracowano na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej w Poznaniu, zgodnie z Uchwałą nr 6/III/12/2024 z dnia 20 grudnia 2024.

1. Zakres i ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca doktorska w postaci wydrukowanej została przygotowana pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Marka Szostaka, prof. Politechniki Poznańskiej i promotora pomocniczego dr hab. inż. Jacka Andrzejewskiego, prof. Politechniki Poznańskiej. Rozprawa ma właściwą dla prac doktorskich strukturę redakcyjną. Praca obejmuje 145 stron, zawiera 58 rysunków, 21 tabel oraz wykaz literatury obejmującej 148 pozycji. Spis treści oraz układ pracy jest właściwy i staranny. Składa się ona z 6 rozdziałów, podsumowania i wniosków końcowych, rozdziału opisującego kierunki dalszych prac, spisu literatury, spisu rysunków i tabel, streszczenia w języku polskim i angielskim, załączników. Rozdziały pracy obejmują analizę stanu wiedzy, tezę wraz z celem i programem badań, charakterystykę prowadzonych badań doświadczalnych, wykonane badania wdrożeniowe, analizę wyników oraz ich interpretację, wnioski końcowe.

Rozprawę otwiera wstęp przedstawiający rozwój technologii wytwarzania nowoczesnych kompozycji polimerowych, możliwości stosowania nowoczesnych oraz wskazujący na potrzebę wytwarzania folii o nowych właściwościach i obszarach stosowania, opracowania warunków technologii wytwarzania oraz określenia charakterystyki materiałowej kompozycji do wytwarzania folii APET.

Rozdziały 1-3 stanowią część literaturową pracy. W rozdziale pierwszym - wprowadzeniu, uzasadniono podjęcie tematyki doktoratu oraz przedstawiono profil przedsiębiorstwa w którym zostały przeprowadzone prace wdrożeniowe. W rozdziałach 2 i 3 przedstawiono część teoretyczną rozprawy, omówiono w nich podstawowe technologie recyklingu PET oraz analizę procesów technologicznych produkcji folii PET i ich modyfikacji.

W rozdziale 4 przedstawiono cel, tezę i zakres pracy. Rozdział 5 rozprawy zawiera plan badań oraz wykonanych prac badawczych. Badania obejmowały trzy główne zakresy: 1 - Ocenę wydajności procesu reaktywnego wytłaczania politereftalanu etylenu (PET) wraz z monitorowaniem procesu produkcji folii, 2 - Analizę wpływu rodzaju i ilości recyklatów oraz dodatku modyfikatora na właściwości folii APET oraz zakres 3 - Analizę wpływu warunków przetwarzania sporządzonych kompozycji polimerowych na wybrane właściwości wytrzymałościowe i funkcjonalne folii APET.

W następnym, rozdziale pracy, Autor przedstawił część wdrożeniową doktoratu. W rozdziale tym przedstawiono przeprowadzone prace wdrożeniowe zrealizowane w przedsiębiorstwie Eurocast. Opisano stosowane materiały, elementy linii technologicznej wraz z przedstawieniem technologii wytworzenia prototypu folii PET z zawartością modyfikatora i napełniaczy. W rozdziale przedstawiono sporządzoną dokumentację techniczną i technologiczną oraz uzyskane atesty i certyfikaty dla wdrożenia produktu.

Kolejny 7 rozdział rozprawy doktorskiej przedstawia wnioski końcowe (poznawcze i użyteczne), zaś rozdział 8 kierunki dalszych badań doświadczalnych i wdrożeniowych. Ponadto rozprawa doktorska zawiera: bibliografię, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis rysunków i tabel a także załączniki dotyczące realizowanych prac wdrożeniowych.

Literatura i jej źródła zostały dobrane prawidłowo i celowo do tematu pracy. Na podkreślenie zasługuje aktualność cytowanej w pracy literatury, co świadczy o dobrym rozeznaniu Autora w tematyce rozprawy. Technika pisania pracy jest opanowana w stopniu dobrym. Rozprawa została starannie przygotowana pod względem edytorskim.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska posiada strukturę typową dla prac teoretyczno-doświadczalnych złożoną z analizy literatury, tezy, celu i zakresu pracy, metodyki badań, wyników badań oraz wniosków. Przyjęty tytuł rozprawy doktorskiej odzwierciedla w pełni problematykę pracy. Na szczególne podkreślenie zasługuje realizacja przez doktoranta prac wdrożeniowych dotyczących wytworzeniu i zastosowaniu nowoczesnej folii APET w zastosowaniach użytkowych.

Podjęta tematyka pracy wpisuje się w jeden z wiodących trendów w rozwoju inżynierii mechanicznej dotyczących przyjaznych środowisku materiałów polimerowych, które mogą być otrzymywane w konwencjonalny sposób i pod względem właściwości fizycznych i zastosowania będą zastępować obecne na rynku materiały lub wzbogacić ofertę materiałów inżynierskich.

Opracowanie oryginalnej receptury oraz technologii produkcji folii poliestrowej typu APET o dobrych właściwościach mechanicznych (porównywalnych z folią APET wyprodukowaną na surowcach pierwotnych), przy zastosowaniu maksymalnej ilości surowców wtórnych, w tym do 100% w warstwie rdzeniowej, pozwoli w wyższym stopniu zagospodarowywać w przemyśle zarówno odpady poprodukcyjne, jak i poużytkowe.

Opracowane w ramach doktoratu rozwiązania umożliwiają wytwarzanie znacząco ulepszonych wielowarstwowych folii APET, głównie dla przemysłu opakowaniowego, w wielu przypadkach bezodpadowo i ze 100% gwarancją powtarzalności.

Na szczególne podkreślenie zasługuje realizacja przez doktoranta prac wdrożeniowych dotyczących wytworzeniu i zastosowaniu nowoczesnej folii APET w zastosowaniach użytkowych. Przeprowadzone w ramach doktoratu prace umożliwiły stworzenie wiedzy technicznej, którą firma produkująca folię będzie mogła zastosować praktycznych na rynku wielowarstwowych folii APET dla przemysłu opakowaniowego. Uzyskane wyniki badań podjętych podczas realizacji doktoratu przełożą się również na rozwój branży wytwarzania folii PET w skali krajowej.

Analiza stanu wiedzy z zakresu tematu Rozprawy pozwoliły na sformułowanie Doktorantowi następującej tezy pracy: Jest możliwość wytworzenia z surowców wtórnych

PET wielowarstwowej folii poliestrowej APET, technologią wytłaczania z kalandrowaniem, umożliwiającą uzyskanie bardzo dobrych właściwości mechanicznych.

Na podstawie przeglądu literatury zagadnienia, Autor wykonał syntetyczną ocenę stanu wiedzy w zakresie tematycznym rozprawy. Umiejętne i logiczne podsumowanie oceny umożliwiło Mu sformułowanie właściwych hipotez i określenie celu rozprawy które zostały sformułowane jasno i przejrzysto.

Celem rozprawy było opracowanie technologii produkcji folii poliestrowej typu APET (kalandrowanej) o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych z wykorzystaniem maksymalnej ilości surowców wtórnych PET (do 100% w warstwie rdzeniowej).

Aby zrealizować przyjęty cel Doktorant przyjął i wykonał prace, które w ujęciu ogólnym dotyczą:

- Analizy stanu wiedzy z zakresu tematyki pracy oraz przeglądu dostępnych pierwotnych i wtórnych materiałów PET.
- Oceny wpływu krotności przetwórstwa recyklatów PET na wybrane właściwości fizyczne wytworzonych kompozycji, to jest wpływu, zawartości wilgoci i stopnia zanieczyszczenia na lepkość, strukturę kompozycji PET.
- Oceny wpływu modyfikatorów lepkości na wybrane właściwości mechaniczne folii PET w zależności od warunków przetwórstwa.
- Wyznaczenia kompleksowych charakterystyk procesów przetwórstwa trójwarstwowych folii APET.
- Analizy wpływu parametrów procesu wytłaczania folii APET na jej właściwości mechaniczne.
- Opracowania nowych parametrów przetwarzania metodą wytłaczania z kalandrowaniem materiałów poliestrowych (pierwotnych i wtórnych) dla uzyskania zadanych właściwości mechanicznych i funkcjonalnych.
- Zestawienia i przygotowania do pracy zaprojektowanej linii technologicznej, opracowania kart technologicznych, kart kontroli jakości, karty produktu prototypowej folii APET.

- Badań wdrożeniowych w skali przemysłowej i analizy wybranych właściwości mechanicznych i funkcjonalnych prototypu trójwarstwowej folii PET, z użyciem maksymalnej ilości materiałów wtórnych.
- Uzyskania niezbędnych atestów i certyfikatów. Wytworzenia partii próbnej opracowanej prototypowej folii APET.

Podsumowując, należy stwierdzić, że do najważniejszych osiągnięć Autora w opiniowanej rozprawie należą następujące ustalenia, to jest:

1. **Wykazanie** możliwości wytworzenia z surowców wtórnych PET, metodą wytłaczania z kalandrowaniem, trójwarstwowej folii poliestrowej APET, umożliwiającej uzyskanie bardzo dobrych właściwości mechanicznych, porównywalnych z folią wykonaną z surowców pierwotnych.
2. **Określenie** wpływu zawartości wilgoci i stopnia zanieczyszczenia na lepkość, strukturę i wybrane właściwości fizykomechaniczne wytworzonych folii z recyklatu PET.
3. **Wykazanie i zdefiniowanie**, wpływu modyfikatorów lepkości na właściwości mechaniczne i przezroczystość wytworzonej w ramach prac folii APET.
4. **Udowodnienie**, że rodzaj oraz ilość modyfikatorów lepkości oraz opracowane warunki przetwórstwa mają znaczący wpływ na uzyskiwaną strukturę przetwarzanych materiałów PET.
5. **Określenie** wpływu parametrów procesu wytłaczania folii APET na jej wybrane właściwości wytrzymałościowe.
6. **Opracowanie** kompleksowych charakterystyk procesów przetwórstwa trójwarstwowych folii APET w produkcji przemysłowej.
7. **Wdrożenie** do praktyki przemysłowej produkcji prototypowej kalandrowanej folii APET na bazie surowców wtórnych.

W związku z powyższym zrealizowano główny cel pracy, a mianowicie opracowano i wdrożono technologię produkcji trójwarstwowej folii poliestrowej typu APET (kalandrowanej) o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych z wykorzystaniem 100%

surowców wtórnych PET w warstwie rdzeniowej, co stanowi 75% całkowitej masy wytwarzanej folii trójwarstwowej.

Podsumowując, wykonane przez Doktoranta badania oraz ich analiza dostarczają cennych informacji na temat technologii produkcji folii poliestrowej typu APET o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych, z wykorzystaniem maksymalnej ilości surowców wtórnych PET.

Poznana wiedza ma znaczenie dla dalszego rozwoju inżynierii materiałowej oraz technologii przetwórstwa kompozytów polimerowych, otwierając nowe możliwości w zakresie optymalizacji materiałów dla konkretnych zastosowań, projektowaniu komponentów inżynierskich, szczególnie w aplikacjach wymagających wysokiej wytrzymałości i odporności mechanicznej. Wyniki te mogą przyczynić się do tworzenia nowych, bardziej efektywnych i zrównoważonych materiałów polimerowych, co ma kluczowe znaczenie zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i przemysłowego.

Recenzowana praca stanowi kompleksowe podejście w poszukiwaniu nowych, przyjaznych środowisku, materiałów polimerowych, a uzyskane wyniki oraz obserwacje mają znaczenie poznawcze, bowiem większość przebadanych materiałów nie była dotąd opisana w literaturze.

Pozyskana wiedza i prowadzone prace wdrożeniowe wskazują na potencjał nowej grupy materiałów i może być to przydatne do dalszego ich rozwoju, stanowić podstawę do opracowania technologii uzyskiwania tych materiałów i produktów w skali przemysłowej.

Oprócz wymienionych osiągnięć własnych, dobrze świadczących o poziomie i erudycji jej Autora, można zaleźć w rozprawie, błędy techniczne, edytorskie, sformułowania niefortunne oraz elementy dyskusyjne, wymagające w niektórych przypadkach wyjaśnień, a mianowicie:

W części doświadczalnej pracy brak jest jakichkolwiek zdjęć stanowisk badawczych, aparatury stosowanej podczas prowadzonych badań. Autor zamieścił opis linii technologicznej wytwarzania folii wraz ze zdjęciami dopiero przy opisie badań wdrożeniowych. Jest to błąd i niepotrzebne uproszczenie.

W pracy jest stosowane poprawne słownictwo techniczne, ale zdarzają się nieliczne niefortunne opisy które nie spełniają wymogów pracy naukowej. Na przykład:

Str. 30, cyt. „Stopiony materiał bloku zasilającego jest podawany do głowicy, a przez szczelinę jest wylewany na ogrzewany bęben (kalandr), ...”, a przecież opis dotyczy uplastycznionego materiału w układzie uplastyczniającym wyciągarki wyposażonej w głowicę wyciągarską szczelinową.

Str. 46, cyt. „Proces formowania wtryskowego przeprowadzono przy użyciu maszyny hydraulicznej Engel Victory 50. Maszyna była wyposażona w ślimak 25 mm i prasę formującą 500 kN”. Przecież opis dotyczy wtryskarki z formą wtryskową.

Str. 46, cyt. „Próbki folii przygotowano przy użyciu wyciągarki jednoślindakowej, model Metalchem W25-30D (IMPiB, Toruń). Maszyna była wyposażona w płaską matrycę i system chill-roll.” Ta „płaska matryca” to głowica wyciągarska szczelinowa.

W rozdziałach 5 oraz 6 Doktorant przedstawia wyniki badań właściwości wytrzymałościowych przy statycznym rozciąganiu. Niestety w podrozdziale tym są zamieszczone tylko wyniki wytrzymałości przy zerwaniu, brak jest wyników dotyczących wytrzymałości przy granicy plastyczności. Uważam, że przedstawienie tych wyników w sposób bardziej wnikliwy i naukowy opisałoby wpływ rodzaju i ilości stosowanych materiałów na właściwości wytrzymałościowe badanych folii.

W rozdziale 5 i 6 pracy brak jest opisu badań udarności, procedury pomiarowej, analizy otrzymanych wyników badań. **Proszę o przedstawienie opisu badań udarności.**

Na stronie 48, w tabeli 5.4, jednostką badań udarności jest poprawnie kJ/m^2 , zaś w tabelach 5.11 (str. 62), 6.7 (str.87), 6.9 (str. 91) oraz wykresach na rysunkach 5.20 (str.64) i 6.32 (str. 91) jednostką udarności jest J. **Proszę również o wyjaśnienie takiej formy zapisu.**

W rozdziale 6 rozprawy dotyczącym badań wdrożeniowych brak jest informacji o liczbie przeprowadzonych pomiarów, liczbie powtórzeń dla każdego rodzaju próbek badawczych, dokładności prowadzonych pomiarów i obliczeń. W badaniach tych brak jest informacji dotyczącej analizy statystycznej wyników badań.

W całej pracy Autor nie przedstawił współczynników korelacji określających istotność pomiędzy wielkościami badanymi. Zastosowanie regresji wielorakiej oraz korelacji

pozwoliłoby na wyciągnięcie bardziej precyzyjnych wniosków dotyczących wpływu badanych czynników na wybrane właściwości badanych kompozytów.

W recenzowanej pracy Autor przeprowadza standardowe badania, zgodnie z obowiązującymi normami. Dotyczy to badań właściwości mechanicznych (wytrzymałość na rozciąganie, udarność) oraz badań dotyczących lepkości, zamglenia. Niestety w literaturze Rozprawy znajdują się tylko dwie normy (pozycja 141, 142), dotyczące badań wytrzymałościowych. Brak jest pozostałych norma, zgodnie z którymi były prowadzone badania oraz opracowanie uzyskanych wyników.

Doktorant nie ustrzegł się drobnych błędów zapisu pozycji literatury. Rok wydania publikacji zapisywany jest w różny sposób, publikacje opisane są z podaniem stron lecz w wielu przypadkach bez podania zakresu stron.

Autor wielokrotnie stosuje, dla opisu prowadzonych badań, słowo "próba". Jest to błąd. Próby wykonuje laborant, zaś w przypadku rozprawy doktorskiej są to badania, obejmujące pomiary, wyniki obliczeń, analizę, interpretację. Tym bardziej, że autor w treści pracy, w danych podrozdziałach, używa poprawnego słownictwa - badania.

Autor często stosuje personifikację opisując przebieg oraz wyniki uzyskanych badań. Takie sformułowania jak: „wykresy pozwoliły”, „wykres pokazuje” nie powinny być stosowane.

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Szymczaka stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i wnosi naukową wartość dodaną do zagadnień związanych z dziedziną nauk technicznych i dyscypliną naukową Inżynieria Mechaniczna. Rozprawa doktorska zawiera wszystkie elementy niezbędne do jej pozytywnej oceny. Do nich zaliczam analizę materiałów źródłowych, związanych z przedmiotem badań, jasne sformułowanie własnej problematyki badawczej i wynikających z niej hipotez badawczych i celów pracy oraz konsekwentne wykonywanie zadań badawczych, zgodnie z przyjętymi zasadami metodologii realizacji pracy naukowo-badawczej.

Praca posiada prawidłową strukturę, jest logiczna metodologicznie i spójna merytorycznie. Jest napisana poprawnym i komunikatywnym polskim językiem technicznym.

Ocena warsztatu badawczego Doktoranta jest pozytywna i zasługuje na uznanie za umiejętność stosowania dojrzałość w środków badawczych (aparatura, stanowiska badawcze i urządzenia technologiczne) oraz narzędzi symulacyjnych (specjalistyczne oprogramowanie komputerowe), co umożliwia Mu swobodne działanie w zakresie badań doświadczalnych. Przejawia się w tym dojrzałość naukowa Doktoranta i Jego przygotowanie do samodzielnej pracy badawczej. Przedstawione w pracy uwagi krytyczne nie obniżają jej oceny i powinny przyczynić się do doskonalenia warsztatu naukowego Doktoranta.

Autorski wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna stanowi: ***opracowanie oraz określenie charakterystyki materiałów na bazie pierwotnego oraz wtórnego poli(tereftalanu etylenu (PET), do tworzenia zaawansowanych rozwiązań inżynierskich, które mogą być stosowane do wytwarzania specyficznych folii typu APET z wykorzystaniem maksymalnej ilości surowców wtórnych PET.***

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Szymczaka pt. „Opracowanie receptury oraz technologii produkcji folii poliestrowej typu APET o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych, z wykorzystaniem maksymalnej ilości surowców wtórnych PET” spełnia wymagania ustawy o stopniach i tytule naukowym (Art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21.06. 2016 r., poz. 882) i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Tomasz Garbacz