

Dr hab. inż. Tomasz Klepka, prof. uczelni
Katedra Technologii i Przetwórstwa
Tworzyw Polimerowych,
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

Lublin, 09.02.2026r.

Recenzja
Rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Wieczorka
pt. **„Gospodarka w obiegu zamkniętym termoplastycznych
wyprasek wielowarstwowych wytwarzanych metodą
współwtryskiwania”**

PROMOTOR PRACY

dr hab. inż. Dariusz Sykutera, prof. PBŚ
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

PROMOTOR POMOCNICZY

dr inż. Piotr Czyżewski
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Recenzję opracowano zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich nr 11/11/2025/2026 z dnia 18 listopada 2025, zawiadomienie nr 2/NB520.9.2025.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa poświęcona jest zagadnieniu termoplastycznych wyprasek wielowarstwowych wytwarzanych metodą współwtryskiwania, rozpatrywanego wprost w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym. Autor rozprawy wykazuje dobrą orientację w aktualnych trendach rozwoju technologii przetwórstwa tworzyw, w szczególności w obszarze wytwarzania opakowań barierowych do kontaktu z żywnością, a także dobrze orientuje się w problematyce recyklingu materiałów polimerowych o złożonej, wielowarstwowej strukturze. Praca nie ogranicza się do tylko analizy samego procesu współwtryskiwania, lecz obejmuje również zagadnienia struktury warstwowej wyprasek, ich właściwości mechanicznych i barierowych, podatności na procesy rozdrabniania oraz zachowania materiału polimerowego w kolejnych

cyklach recyklingu mechanicznego. Szczególnie istotne jest umiejętne powiązanie badań technologicznych z wymaganiami stawianymi przez system gospodarki o obiegu zamkniętym, w tym możliwość ponownego wykorzystania regranulatów, w nowych wyrobach o ściśle określonych cechach funkcjonalnych. Autor rozprawy posługuje się adekwatnymi metodami badawczymi, a uzyskane wyniki są analizowane w sposób uporządkowany i krytyczny, z uwzględnieniem ograniczeń technologicznych oraz realiów przemysłowych.

Rozprawa sprawia wrażenie pracy dojrzałej naukowo, w której część eksperymentalna nie jest celem samym w sobie, lecz służy weryfikacji jasno postawionych tez. Widoczne jest konsekwentne dążenie do odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu wielowarstwowe wypraski termoplastyczne, tradycyjnie uznawane za trudne lub problematyczne z punktu widzenia recyklingu, mogą zostać skutecznie włączone w pętlę materiałowego obiegu zamkniętego bez istotnej utraty właściwości użytkowych.

2. Ocena struktury rozprawy i kolejności rozdziałów

Struktura rozprawy doktorskiej została opracowana w sposób przemyślany, logiczny i w pełni odpowiadający standardom prac naukowych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Układ rozdziałów odzwierciedla klasyczny, a zarazem właściwie dobrany tok rozumowania: od szerokiego ujęcia teoretycznego, przez precyzyjne zdefiniowanie celów, aż po wieloetapowe badania eksperymentalne i końcową analizę wyników o znaczeniu poznawczym i aplikacyjnym.

Rozdział pierwszy, poświęcony analizie literatury i stanu wiedzy, został logicznie podzielony na podrozdziały prowadzące czytelnika od zagadnień ogólnych do coraz bardziej szczegółowych. Autor rozpoczyna od omówienia roli i funkcji opakowań barierowych w systemach dystrybucji żywności, następnie przechodzi do charakterystyki materiałów polimerowych przeznaczonych do kontaktu z żywnością oraz ich właściwości użytkowych. W podpunkcie 1.3 przedstawiono charakterystykę technologii wytwarzania wyrobów wielowarstwowych oraz osadzenie tych zagadnień w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym.

Wyraźne wyodrębnienie rozdziału drugiego, obejmującego cel, hipotezę oraz zakres pracy, stanowi istotny element porządkujący treść rozprawy. Autor jednoznacznie definiuje, do jakich problemów odnosi się praca oraz jakie zadania badawcze będą realizowane w kolejnych jej częściach. Umieszczenie tego rozdziału bezpośrednio po analizie stanu wiedzy pozwala na czytelne powiązanie literatury z przyjętymi założeniami badawczymi.

Rozdział trzeci, dotyczący badań wstępnych, pełni ważną funkcję metodologiczną. Autor słusznie oddziela ten etap od zasadniczych badań głównych, co umożliwia wstępną ocenę materiału oraz uzasadnienie dalszych decyzji prowadzenia eksperymentu. Struktura tego rozdziału, obejmująca cel, metodykę, wyniki oraz ich podsumowanie, jest przejrzysta i konsekwentnie powtarzana w kolejnych częściach pracy.

Rozdziały czwarty, piąty i szósty, obejmują trzy etapy badań głównych. Zostały one uporządkowane w sposób logiczny i progresywny. Każdy etap rozpoczyna się od sformułowania celu naukowego oraz opisu metodyki, następnie przedstawiane są wyniki badań i ich analiza. Przyjęcie takiej metodyki wyraźnie opisuje przebiegu badań oraz kolejne etapy recyklingu mechanicznego. Szczególnie pozytywnie należy ocenić fakt, że autor konsekwentnie rozwija zagadnienia, przechodząc od analiz struktury i podatności wyprasek na procesy mechaniczne, przez wpływ parametrów współwtryskiwania, aż po ocenę właściwości regranulatów po drugim cyklu recyklingu.

Pracę kończy rozdział siódmy, zawierający podsumowanie, wnioski końcowe oraz kierunki dalszych badań. Wyodrębnienie kierunków dalszych badań świadczy o świadomości autora co do ograniczeń pracy oraz potencjału dalszego rozwoju podjętej problematyki.

Dobór literatury można uznać za trafny i w przeważającej części aktualny, co świadczy o systematycznej analizie źródeł oraz świadomości obowiązujących trendów badawczych w obszarze inżynierii materiałowej i mechanicznej. Przedstawiony spis literatury obejmuje 191 pozycji i charakteryzuje się bardzo wysokim stopniem aktualności oraz rzetelnością merytoryczną. Struktura chronologiczna zestawienia, w którym aż 76% źródeł (145 pozycji) pochodzi z lat 2015–2025 dowodzi, że praca opiera się na najnowszym stanie wiedzy. Jest to szczególnie istotne w tak szybko zmieniających się obszarach jak inżynieria mechaniczna, materiałowa, barierowość opakowań oraz technologie recyklingu.

Szczególne uznanie budzi uwzględnienie publikacji z lat 2024 i 2025 (m.in. poz. [7], [13], [27], [108], [113]), co świadczy o bieżącym monitorowaniu światowych trendów naukowych i najświeższych zmian legislacyjnych, w tym nowych rozporządzeń unijnych. Bibliografia stanowi kompleksowe połączenie teorii z praktyką przemysłową, gdzie obok klasycznych monografii i podręczników Autor umiejętnie wykorzystuje raporty branżowe oraz techniczne karty charakterystyki materiałów.

Całościowo należy stwierdzić, że struktura rozprawy jest spójna, logiczna i konsekwentna. Kolejność rozdziałów została dobrana w sposób przemyślany i sprzyja stopniowemu budowaniu argumentacji naukowej. Układ pracy ułatwia lekturę i pozytywnie wpływa na odbiór merytoryczny rozprawy, co należy uznać za jej istotny walor formalny.

3. Ocena wyboru tytułu i zakresu problematyki badawczej

Tytuł rozprawy należy ocenić jako trafny, precyzyjny i adekwatny do rzeczywistej zawartości pracy. W sposób jednoznaczny identyfikuje on zarówno obiekt badań: termoplastyczne wypraski wielowarstwowe wytwarzane metodą współwtryskiwania, jak i nadrzędny kontekst interpretacyjny, którym jest szeroko rozumiany proces recyklingu. Zestawienie tych dwóch obszarów nie ma charakteru deklaratywnego, lecz znajduje pełne odzwierciedlenie w strukturze i treści rozprawy. Autor podjął się analizy problemu recyklingu mechanicznego wielowarstwowych wyrobów termoplastycznych wytwarzanych metodą współwtryskiwania, co jest zagadnieniem trudnym, złożonym i wciąż niedostatecznie rozpoznanym w literaturze naukowej. W tym sensie temat rozprawy ma znaczenie nie tylko poznawcze, lecz również aplikacyjne.

Hipoteza badawcza ma charakter naukowo-inżynierski i weryfikowalny, co należy uznać za zaletę. Pewnym mankamentem jest jednak jej dość ogólne sformułowanie. W pracy doktorskiej można oczekiwać bardziej precyzyjnego wskazania, które właściwości: mechaniczne, barierowe, reologiczne mają najważniejsze znaczenie dla pozytywnej weryfikacji hipotezy. Nie wpływa to jednak zasadniczo na poprawność merytoryczną rozprawy.

Zakres problematyki badawczej został dobrany rozsądnie i bez nadmiernego rozproszenia. Skupienie się na wypraskach PP/EVOH/PP oraz na technologii współwtryskiwania pozwala na uzyskanie pogłębionej analizy zjawisk zachodzących zarówno na etapie wytwarzania, jak i w kolejnych cyklach przetwórstwa wtórnego, z uwzględnieniem wpływu parametrów procesu współwtryskiwania na strukturę i właściwości wyrobu. Jednocześnie tematyka ta ma wyraźne znaczenie praktyczne, szczególnie dla sektora opakowań barierowych, który znajduje się obecnie pod silną presją regulacyjną i środowiskową UE. Z perspektywy oceny naukowej należy podkreślić, że wybrany temat wpisuje się w aktualne i przyszłościowe kierunki badań w inżynierii mechanicznej. Problematyka łączenia wysokich właściwości funkcjonalnych wyrobów wielowarstwowych z ich podatnością na recykling stanowi jedno z istotnych wyzwań współczesnego przetwórstwa tworzyw polimerowych. W tym sensie zarówno tytuł, jak i zakres pracy można uznać za w pełni uzasadniony, dobrze przemyślany i odpowiadające wymaganiom stawianym rozprawie doktorskiej o charakterze naukowo- aplikacyjnym.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

4.1. Ocena problematyki badawczej i jej aspektu naukowego

Podjęta problematyka – recykling mechaniczny wielowarstwowych wyprasek termoplastycznych wytwarzanych metodą współwtryskiwania, analizowana w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym – jest aktualna, istotna i trudna. Autor mierzy się z realnym problemem inżynierskim, który nie ma charakteru akademicko-modelowego, lecz dotyczy materiałów i technologii funkcjonujących w przemyśle opakowaniowym.

Na poziomie ogólnym problem badawczy został zidentyfikowany poprawnie rozwiązując zagadnienie w zakresie pomiędzy wysoką funkcjonalnością wyrobów wielowarstwowych (rodzaj tworzywa, grubość ścianki, barierowość, właściwości użytkowe) a ich ograniczoną podatnością na recykling.

W rozprawie Autor zgromadził obszerny materiał literaturowy, poprawnie go zinterpretował i stworzył solidne zaplecze teoretyczne dla realizacji badań własnych. W części dotyczącej opakowań barierowych, Autor poprawnie identyfikuje ich rolę w nowoczesnych systemach dystrybucji żywności, ze szczególnym uwzględnieniem funkcji ochronnych, logistycznych i użytkowych. Przedstawione rozważania dotyczące przenikalności gazów, pary wodnej oraz migracji substancji z materiału opakowaniowego do żywności. Autor wykazuje świadomość ograniczeń materiałowych i technologicznych konwencjonalnych polimerów oraz zasadności stosowania struktur wielowarstwowych, w celu osiągnięcia wymaganych właściwości barierowych.

Analiza technologii współwtryskiwania została przeprowadzona poprawnie pod względem merytorycznym. Autor opisuje istotę procesu, jego odmiany oraz potencjał aplikacyjny w wytwarzaniu wyrobów o zróżnicowanej funkcjonalności warstwowej. Na pozytywną ocenę zasługuje także fakt, że technologia ta nie została przedstawiona wyłącznie w ujęciu procesowym, lecz również w kontekście konsekwencji materiałowych, takich jak formowanie struktury warstwowej, rozkład grubości poszczególnych warstw oraz ich znaczenie dla dalszego przetwórstwa wtórnego.

W odniesieniu do właściwości polimerów stosowanych do kontaktu z żywnością autor dodatkowo opisuje szerokie spektrum zagadnień, obejmujących: właściwości mechaniczne, termiczne, fizyczne i chemiczne materiałów opakowaniowych. Opisy te są poprawne merytorycznie i poparte literaturą, jednak w wielu miejscach mają charakter podręcznikowy. Zamiast selektywnej analizy właściwości ważnych z punktu widzenia dalszych badań

własnych, Autor często przytacza informacje o charakterze ogólnym, które nie zawsze są bezpośrednio wykorzystywane w dalszej części rozprawy.

Podobna uwaga dotyczy omówienia problemów recyklingu materiałów wielowarstwowych. Autor trafnie identyfikuje główne bariery technologiczne, takie jak niemieszalność faz polimerowych, obecność dodatków modyfikujących oraz trudności w separacji warstw. Jednakże w części tej zabrakło bardziej jednoznacznego wskazania, które z opisanych problemów stanowią bezpośrednią przesłankę do podjęcia badań własnych oraz w jaki sposób zaproponowane w rozprawie podejście ma te ograniczenia przełamać lub złagodzić.

4.2. Ocena programu badań i metodyki

Program badań zaprezentowany w rozprawie został opracowany w sposób rozbudowany i zasadniczo logicznie uporządkowany. Autor wyraźnie dzieli część eksperymentalną na badania wstępne oraz trzy etapy badań głównych, co pozwala na stopniowe zawężanie problemu badawczego i pogłębianie analizy w kolejnych cyklach przetwórstwa materiału.

Badania wstępne pełnią funkcję rozpoznawczą i stanowią uzasadnione wprowadzenie do zasadniczej części pracy. Autor wykorzystuje je do określenia podstawowych właściwości materiału pierwotnego oraz regranulatów otrzymanych w pierwszym cyklu recyklingu mechanicznego. Pozwala to na wstępną ocenę wpływu rozdrabniania i regranulacji na właściwości przetwórcze i mechaniczne materiału, a tym samym na świadome zaprojektowanie dalszych etapów badań.

Trzy etapy badań głównych zostały zaplanowane w sposób konsekwentny, z wyraźnym przejściem od analizy struktury i podatności wyprasek na procesy mechaniczne, przez ocenę wpływu parametrów współwtryskiwania na kształtowanie struktury warstwowej, aż po analizę zachowania materiału w kolejnym cyklu recyklingu. Takie ujęcie umożliwia ocenę nie tylko właściwości końcowego wyrobu, lecz również jego „zachowania procesowego” w warunkach rzeczywistego przetwórstwa wtórnego, co należy uznać za istotną zaletę pracy.

Na pozytywną ocenę zasługuje także dobór metod badawczych, który w przeważającej zakresie odpowiada standardom obowiązującym w inżynierii mechanicznej. Zastosowane techniki pomiarowe pozwalają na ocenę zarówno struktury wyprasek wielowarstwowych jak i ich właściwości użytkowych, w tym właściwości mechanicznych, przetwórczych oraz barierowych. Wybór metod badawczych można uznać za adekwatny do postawionych celów badawczych.

Pewne wątpliwości budzi jednak zakres programu badań, który w kilku miejscach wydaje się nadmiernie szeroki w stosunku do jednoznacznej weryfikacji hipotezy badawczej. Nie zawsze jasno wskazano, które badania mają istotny charakter, a które pełnią funkcję uzupełniającą lub potwierdzającą. W rezultacie część wyników, mimo że poprawnych i interesujących, nie została w pełni wykorzystana w procesie argumentacji naukowej.

Podsumowując, program badań i zastosowana metodyka zostały zaprojektowane poprawnie i stanowią solidną podstawę do realizacji założonych celów pracy. Pomimo pewnych uwag krytycznych dotyczących selektywności badań i pogłębienia analizy metodologicznej, część eksperymentalna rozprawy jest bardzo dobra.

4.3.Ocena wyników badań i ich interpretacji

Wyniki badań zaprezentowane w rozprawie zostały przedstawione w sposób uporządkowany i konsekwentny, z wyraźnym zachowaniem struktury odpowiadającej kolejnym etapom programu badawczego. Autor stosuje tabele i wykresy w sposób funkcjonalny, umożliwiając porównanie właściwości materiałów pierwotnych, regranulatów oraz wyrobów otrzymanych w kolejnych cyklach recyklingu mechanicznego. Układ danych jest przejrzysty, a opisy osi, jednostek i warunków pomiarowych w większości przypadków pozwalają na jednoznaczną interpretację wyników.

Na pozytywną ocenę zasługuje fakt, że autor konsekwentnie odnosi uzyskane wyniki do zmiennych procesowych oraz składu materiałowego wyprasek. Przedstawione zestawienia umożliwiają śledzenie wpływu zmian parametrów współwtryskiwania, zawartości regranulatu w warstwie rdzeniowej oraz liczby cykli recyklingu na właściwości mechaniczne, przetwórcze i barierowe badanych wyrobów. Dzięki temu czytelnik otrzymuje spójny obraz zależności pomiędzy strukturą wypraski a jej właściwościami użytkowymi.

Interpretacja wyników jest poprawna i oparta na logicznych przesłankach inżynierskich. Autor prawidłowo identyfikuje podstawowe trendy, takie jak stopniowy spadek wybranych właściwości mechanicznych wraz z kolejnymi cyklami recyklingu oraz wpływ parametrów wtryskiwania na rozkład grubości warstw w strukturze wypraski. W wielu przypadkach interpretacja znajduje uzasadnienie w przywołanej literaturze, co wzmacnia wiarygodność formułowanych wniosków.

Podsumowując, wyniki badań zostały przedstawione w sposób rzetelny i uporządkowany, a ich interpretacja jest w większości poprawna i spójna z przyjętą metodyką. Pomimo wskazanych uwag, część eksperymentalna rozprawy dostarcza wartościowych danych, które

w istotny sposób przyczyniają się do realizacji celu pracy i potwierdzają kompetencje autora w zakresie prowadzenia badań inżynierskich.

5. Ocena końcowa rozprawy

Podczas lektury celu i zakresu rozprawy doktorskiej nasunęły mi się drobne uwagi wymagające wyjaśniania oraz zauważono kilka niefortunnych określeń wymagających poprawy np. przy redagowaniu przyszłych publikacji.

W części opisu technologii wytwarzania wyrobów będących przedmiotem badań, autor opisuje procesy kształtowania struktury warstwowej, rozkład grubości warstw i ich wpływ na właściwości użytkowe wyprasek wytryskowych. Jest to ważny fragment rozprawy i w tym obszarze praca jest napisana właściwie. Natomiast, we fragmentach pracy z zakresu GOZ w mojej ocenie opisanych właściwie, brakuje kilku wskaźników bezpośrednich (inżynierskich), które dostarczają szczegółowych informacji na temat: liczby możliwych cykli recyklingu przy zachowaniu parametrów funkcjonalnych wyprasek, stopnia utraty właściwości, poziomu dopuszczalnego udziału regranulatu w warstwie środkowej lub zdolności do utrzymania przez wypraskę barierowości.

Rysunki w większości są czytelne i poprawne technicznie. Schematy budowy wyprasek wielowarstwowych (np. rys. 3) spełniają funkcję porządkującą i ułatwiają odbiór tekstu. Należy jednak zwrócić uwagę, że część materiału ilustracyjnego ma charakter zbyt ogólny: przedstawia treści oczywiste dla czytelnika specjalisty i nie wnosi wartości poznawczej. W takim przypadku rysunek powinien albo zostać ograniczony, albo przekształcony w wersję autorską, która realnie opíše określony fragment pracy, np. poprzez powiązanie z badanymi przypadkami, parametrami procesu, zjawiskami w wypraskach. Osobną uwagę budzi przyjęty sposób oznaczania takich grafik i schematów jako „opracowanie własne”, gdy w rzeczywistości są to rysunki o charakterze podręcznikowym. Przykładem jest rysunek przedstawiający stany fizyczne polimerów (rys. 5, str. 23). Taki rysunek występuje w licznych publikacjach dydaktycznych; podpis „*opracowanie własne*” bez wskazania źródła - w takich przypadkach bezpieczniejsze jest wskazanie: „*na podstawie ...*”, „*adaptacja ...*”, ewentualnie przywołanie klasycznego źródła z publikacji.

Podobna uwaga dotyczy wykresów, na których Autor zbyt często ~~autor~~ w tekście podpisu przyjmuje formę: „zaobserwowano wzrost/spadek”. Taka narracja jest dopuszczalna na poziomie raportu z pomiarów. Brakuje tam bardziej szczegółowych informacji i uzupełnień:

dlaczego określony trend występuje ?, jakie mechanizmy materiałowe i procesowe to powodują ?, czy obserwacja jest zgodna z literaturą ?

6. Fragmenty wymagające wyjaśnienia, doprecyzowania lub korekty

(A) Nadużywanie ogólników i języka „publicystycznego”

Przykładowo (str. 11): „*Współczesny przemysł opakowaniowy łączy zaawansowane technologie...*”

Z perspektywy recenzenta jest to zdanie o charakterze bardzo ogólnym. Nie wiadomo jakie technologie autor miał na myśli (wtryskiwanie współwtryskiwanie, współwytłaczanie, nanoszenie powłok barierowych, metalizowanie, laminowanie) oraz jakie parametry są w tym przypadku brzegowe. W pracy badawczej tego typu sformułowania powinny być uzupełnione choć jednym przykładem technicznym i odniesieniem do danych.

Proszę wskazać przynajmniej jeden przykład wraz z odniesieniem do parametrów technologicznych procesu lub skali przemysłowej.

Strona 11 – podpis rysunkiem Rys.1- określenie „*zużycie odpadów*” jest niepoprawne, ponieważ odpady nie ulegają zużyciu, lecz powstają w wyniku zużycia surowców i produktów. Właściwe jest więc odnoszenie się do udziału poszczególnych sektorów w generowaniu odpadów lub do struktury strumienia odpadów według określonego sektora gospodarki.

(B) Nieprecyzyjne użycie terminów mechanicznych

Strona 21, 17 w $\uparrow$: „*moduł sprężystości wzdłużnej (moduł Younga)*”

W kontekście folii i opakowań nie jest to określenie kompletne, bez doprecyzowania: kierunku pomiaru (MD, TD, wytłaczanie/orientacja), szybkości odkształcenia, temperatury, warunków wilgotności, co jest bardzo istotne dla większości materiałów polimerowych.

(C) Niefortunne określenia – do korekty w publikacjach

W tekście pojawiają się zwroty typowe dla narracji ogólnej, które w publikacjach naukowych obniżają precyzję: „*stanowi fundament*” → lepiej: „*jest warunkiem koniecznym*”; „*nabiera szczególnego znaczenia*” → usunąć lub uzasadnić wskaźnikiem; „*wysokie wymagania*” → doprecyzować: jakie, według czego, w jakiej normie; „*znaczący wzrost*” → podać wartość liczbową, % lub rząd wielkości

(D) Niefortunne opis – błąd ortograficznych

W całej pracy 14 razy użyto „kreowanie”. Dlaczego autor konsekwentnie stosuje to określenie zamiast użyć jednoznacznych i powszechnie przyjętych w języku polskim terminów technicznych, takich jak: „tworzenie”, „formowanie” lub „kształtowanie”?

Str. 28, Tabela 5, zawiera wyłącznie opisy jakościowe (np. „Bardzo duża”, „Mała”), bez podania konkretnych wartości liczbowych współczynników przenikalności oraz ich jednostek. Z jakiego powodu w pracy z zakresu inżynierii mechanicznej zrezygnowano z prezentacji danych ilościowych, które są standardem w opisie tego typu analiz?

W pracy dwukrotnie występuje błąd ortograficzny „KONTEŚCIE” zamiast „KONTEKŚCIE”
Strona 3, 18 w ↑, spis treści podpunkt punkt 1.4....

Strona 53, 13 w ↑, tekst główny, nagłówek rozdziału 1.4,

(E) Pytania wymagające wyjaśnienia, doprecyzowania

E1- Na stronie 13 pojawia się zdanie: „*Zrozumienie zjawisk zachodzących podczas formowania wielowarstwowej struktury wyprasek warunkuje...*”. Jakie konkretnie zjawiska autor uznaje za najważniejsze? Jakimi metodami były one analizowane oraz na jakim poziomie skali mikro-, mezo- czy makroskopowym prowadzone są rozważania?

E2- Dlaczego jako technologię wytwarzania wybrano współwtryskiwanie, a nie współwytłaczanie lub laminację oraz czy decyzja ta wynikała ze świadomej analizy technologicznej, a nie jedynie z opisowego przedstawienia jednej metody.

E3 -Wybór rodzaju tworzywa na warstwę barierową: EVOH zamiast PA lub PVDC, proszę podać jednoznaczne argumenty z zakresu mechaniki i/lub przetwórstwa, a także wyjaśnić, jak zmienia się rola EVOH po pierwszym i drugim cyklu recyklingu, w szczególności w odniesieniu do funkcji innych niż barierowość.

E4- W odniesieniu do procesu współwtryskiwania proszę o wyjaśnienia roli lepkości pozornej regranulatu w formowaniu warstwy środkowej oraz wskazania, który parametr procesu COI ma największy wpływ na jej grubość.

E5- Który etap recyklingu powoduje największą degradację materiału oraz proszę wyjaśnić czy drugi cykl recyklingu ma jeszcze sens technologiczny i gdzie przebiega granica jego użyteczności.

Wskazane w recenzji uwagi krytyczne dotyczą głównie kwestii redakcyjnych, selektywności programu badań oraz pogłębienia interpretacji wyników. Nie podważają one zasadniczej wartości naukowej rozprawy ani nie wpływają na ocenę spełnienia przez Autora podstawowych kryteriów wymaganych do uzyskania stopnia doktora.

Rozprawa ma wysoki poziom merytoryczny i mocny rdzeń eksperymentalny. Uwagi wskazane powyżej nie mają charakteru dyskwalifikującego, ale dotyczą obszarów, które w ocenie recenzenckiej bywają krytyczne: operacyjność pojęć (GOZ), rygor językowy oraz jakość analizy danych. Przy dopracowaniu tych elementów autor dysponuje materiałem na wartościowe publikacje.

Reasumując, uważam, że założony przez Doktoranta cel badań został zrealizowany, a otrzymane wyniki poszerzają dotychczasowy stan wiedzy w dziedzinie nauk z zakresu inżynierii mechanicznej. Rozprawa cechuje się jakością merytoryczną, rzetelnym podejściem do analizy wyników oraz precyzyjnym sformułowaniem wniosków, co czyni ją istotnym źródłem wiedzy dla specjalistów zajmujących się współczesną problematyką: zarówno zagadnieniami przetwórstwa tworzyw, wytwarzania wyrobów wielowarstwowych oraz problematyką recyklingu w ramach gospodarki w obiegu zamkniętym.

7. Wnioski końcowe

Przedstawione w rozprawie osiągnięcia naukowe i aplikacyjne zasługują na wysoką ocenę, stanowiąc rzadko spotykana, spójną całość, łączącą między innymi zaawansowaną inżynierię mechaniczną z twardymi realiami przemysłowymi. Autor nie ograniczył się do teoretycznych rozważań, lecz przeprowadził kompleksowy proces badawczy, którego zwieńczeniem jest autentyczne rozwiązanie technologiczne wpisujące się w obecne potrzeby gospodarki obiegu zamkniętego.

Istotnym sukcesem Autora jest precyzyjne opracowanie technologii współwtryskiwania dla trudnego układu PP/EVOH/PP. Potwierdzono metodami naukowymi możliwość otrzymania stabilnej, poprawnej geometrycznie ścianki w cienkościennej wyprasce trójwarstwowej, przy udziale regranulatu w jej środkowej warstwie przekraczającej 50% mas. Wynik ten jest imponujący i dowodzi doskonałego opanowania zagadnień reologii i dynamiki przepływów

przez autora. Szczególnie wartościowe jest tu powiązanie parametrów procesowych, takich jak czas opóźnienia czy prędkość wtrysku, z finalnym rozkładem warstw w wypraskach, co może stanowić gotową recepturę technologiczną

Proponuje rozważyć przygotowanie stosownego opisu i dokonać zgłoszenia patentowego do UPRP w tym zakresie.

Warto podkreślić innowacyjność w podejściu do samego przygotowania surowca. Badania nad geometrią noży i mechaniką rozdrabniania struktur cienkościennych dowodzą, że Autor rozumie cały cykl życia produktu: od momentu, gdy staje się on odpadem, aż do powrotu do maszyny przetwórczej i wytworzenia pełnowartościowego wyrobu. Potwierdzenie braku migracji substancji niezamierzonych oraz wykazanie wzrostu barierowości wraz z zawartością recyklatu EVOH to dodatkowy mocny punkt rozprawy i wyników badań Autora.

Największą wartością merytoryczną rozprawy jest jej skala. Fakt, że badania realizowano na liniach półprzemysłowych i przemysłowych, nadaje wypracowanym wynikom rangę do gotowego wdrożenia. Autor nie tylko potwierdził postawione hipotezy, ale dostarczył przemysłowe, konkretne narzędzia: od założeń linii do recyklingu, po wytyczne modyfikacji wtryskarek. Udowadnia to wstępne założenie, że zaawansowany recykling barierowych wyprasek wielowarstwowych nie jest metodą przyszłości, lecz technologiczną rzeczywistością, możliwą do zrealizowania także przy obecnych maszynach i urządzeniach.

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z zakresu inżynierii mechanicznej, dotyczącego możliwości ponownego wykorzystania materiałów do nowych wyrobów termoplastycznych, wytwarzanych metodą współwtryskiwania, w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym.

W toku realizacji pracy autor wykazał się umiejętnością samodzielnego planowania i realizacji badań naukowych. Opracowany program badań jest rozbudowany, logicznie uporządkowany i konsekwentnie realizowany, co świadczy o dojrzałości naukowo-badawczej oraz zdolności do prowadzenia długofalowych, wieloetapowych eksperymentów. Autor potrafił zaplanować kolejne etapy badań w sposób umożliwiający stopniowe pogłębianie analizy oraz weryfikację przyjętych założeń.

Autor wykazał się również dobrą znajomością metod badawczych stosowanych w inżynierii mechanicznej i materiałowej. Zastosowane techniki pomiarowe zostały dobrane adekwatnie do postawionych celów pracy, a sposób ich wykorzystania świadczy o praktycznym doświadczeniu autora w prowadzeniu badań eksperymentalnych. Opisy metodyki, mimo pewnych uchybień redakcyjnych, umożliwiają odtworzenie przebiegu badań i ocenę wiarygodności uzyskanych wyników.

W podsumowaniu stwierdzam, że recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska Pana mgr inż. Piotra Wieczorka pt.: **„Gospodarka w obiegu zamkniętym termoplastycznych wyprasek wielowarstwowych wytwarzanych metodą współwtryskiwania”** stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i spełnia kryteria określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce Dz.U 2024r., poz. 1571 z późniejszymi zmianami (Dz.U.z 2024 r. poz. 1871 i 1897 oraz z 2025 r poz. 619-622 i 1162).

Na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja o przyjęcie pracy i dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie zgłaszam wniosek o wyróżnienie rozprawy zgodnie z procedurami przyjętym na Politechnice Bydgoskiej .

 Podpisano przez/ Signed by:
TOMASZ
KLEPKA
Data/ Date: 09.02.2026 15:03
mSzafir