

Prof. dr hab. inż. Anna Rudawska  
Katedra Informatyzacji i Robotyzacji Produkcji  
Wydział Mechaniczny  
Politechnika Lubelska

Lublin, dnia 29.01.2024 r.

## Recenzja

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Patrycji Walichnowskiej  
p.t.: „Wpływ cech i parametrów pakowania butelek w folię termokurczliwą  
na szkodliwość w systemie technicznym”**

**Dziedzina: nauki inżyniersko – technicznych  
Dyscyplina naukowa: inżynieria mechaniczna**

Podstawą sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo Pana Przewodniczącego Rady naukowej dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich z dnia 20.12.2023 r., nr 1/RNCS.520.6.2023 oraz Zawiadomienie nr 1/RNCS.520.6.2023 o wyznaczeniu na Recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora z dnia 20.12.2023 r.

### 1. Cel rozprawy oraz problemy i zadania badawcze

W recenzowanej rozprawie przyjęto następujące cele w brzmieniu:

1. „Badania, analizę i wskazanie możliwości opisu i doskonalenia elementów oraz relacji zbioru cech konstrukcyjnych i zbioru cech parametrów procesu masowego pakowania w folię termokurczliwą butelek z napojami na szkodliwość w systemie technicznym.”
2. „Opracowanie modeli matematycznych podstawowych oraz prorozwojowych wskaźników charakteryzujących proces masowego pakowania butelek.”

W celu osiągnięcia przedstawionych celów rozprawy zdecydowano sformułować i przedstawić rozwiązania następujących zagadnień badawczych dotyczących obszaru inżynierii mechanicznej w zakresie procesów technologicznych pakowania produktów:

- 
1. „Jakie są cechy konstrukcyjne termokurczliwych opakowań foliowych i jaki jest wpływ tych cech konstrukcyjnych na obciążenie środowiska technologicznego (naturalnego), w tym systemu technicznego maszyn i urządzeń procesów ich wytwarzania oraz eksploatacji?”
  2. „Jakie są parametry procesów wytwarzania i eksploatacji termokurczliwych opakowań foliowych i jaki jest wpływ tych parametrów na obciążenie środowiska naturalnego maszyn i urządzeń procesów ich wytwarzania oraz eksploatacji?”
  3. „Czy zastosowanie nowego tworzywa konstrukcyjnego do produkcji opakowań foliowych wpłynie na zwiększenie efektywności w procesie masowego pakowania butelek do napojów oraz przyczyni się do zmniejszenia negatywnych skutków przedmiotowego procesu?”

Następstwem przedstawionych zagadnień badawczych było opracowanie zadań badawczych, których realizacja pozwoliła na stwierdzenie osiągnięcia celów rozprawy. Wśród zadań przyjęto:

- Analizę stanu wiedzy i techniki, zebraniu i uporządkowaniu danych wejściowych wybranych faz cyklu życia masowego pakowania butelek z napojami z użyciem folii termokurczliwej;
- Opracowanie modeli matematycznych wskaźników opisujących analizowany proces masowego pakowania butelek za pomocą folii termokurczliwej;
- Wyznaczenie cech użytkowych oraz określenie ich wpływu na końcowe parametry procesu pakowania stosowanych w przemyśle różnych rodzajów folii termokurczliwych, w tym również folii zawierających dodatek w postaci recyklatów;
- Identyfikację dominujących, szkodliwych oddziaływań poszczególnych etapów procesu masowego pakowania butelek z napojami;
- Wyznaczenie poziomów szkodliwości procesu masowego pakowania butelek na otoczenie systemu technicznego;
- Opracowanie nowych wytycznych dla projektowania, zasilania, sterowania, monitorowania, a w konsekwencji i rozwoju systemów technicznych, w których występują maszyny przeznaczone do masowego pakowania butelek z napojami.

Zadania badawcze zrealizowano z wykorzystaniem badań laboratoryjnych, symulacyjnych oraz przemysłowych, których wyniki przyczyniły się do pozyskania wiedzy

---

w określonej problematyce badawczej, co w dalszej konsekwencji pozwoli na sformułowanie konkluzji na temat osiągnięcia postawionych w rozprawie celów.

Realizacja przyjętego celu rozprawy oraz zweryfikowanie przedstawionej tezy wymagały zarówno głębokiej analizy teoretycznej omawianej problematyki, jak też przeprowadzenia przez Doktorantkę wielu różnorodnych i obszernych badań eksperymentalnych oraz badań symulacyjnych i przemysłowych,, których opis i wyniki są przedstawione w niniejszej rozprawie.

## **2. Zakres rozprawy**

Rozprawa jest klasyczną naukową pracą łączącą badania eksperymentalne, symulacyjne oraz przemysłowe, a jej tytuł jest adekwatny do zawartych w niej treści. Układ rozprawy jest przejrzysty i właściwy. Składa się ona z sześciu rozdziałów zawierających: wprowadzenie, analizę stanu wiedzy dotyczącej omawianej problematyki rozprawy, charakterystykę obiektu badań, opis metod badań laboratoryjnych, symulacyjnych oraz przemysłowych, a także wyniki przeprowadzonych wymienionych wyżej rodzajów badań, a ostatni rozdział zawiera podsumowanie i wnioski.

W rozdziale pierwszym („Wprowadzenie”) przedstawiono problematykę pracy, cel i problem pracy oraz zakres pracy.

Drugi rozdział zawiera analizę aktualnego stanu literatury związanej z problematyką rozprawy i składa się z pięciu podrozdziałów w brzmieniu: szkodliwość systemów technicznych oraz metody jej oceny w cyklu życia, procesy produkcyjne, przetwórcze i ich wpływ na otoczenie systemu technicznego, charakterystyka opakowań z tworzyw sztucznych, rola opakowań oraz folie termokurczliwe. W rozdziale tym przedstawiono współczesne trendy związane z procesami technologicznymi opakowań, a także strategię Unii Europejskiej w odniesieniu do tworzyw sztucznych (m.in. w aspekcie zwiększania liczby tworzyw znajdujących się w obiegu zwrotnym i zmniejszeniu ich negatywnego oddziaływania na środowisko) oraz w zakresie zrównoważonego rozwoju. Opisano również wybrane zagadnienia wpływu procesów technologicznych na otoczenie, a także sposoby oceny szkodliwości oddziaływań danego systemu technicznego z wykorzystaniem analizy cyklu życia (LCA). Doktorantka przedstawiła przyczyny i zasadność podjęcia tematu rozprawy.

---

Trzeci rozdział rozprawy przedstawia charakterystykę obiektu badań, którym był proces rzeczywisty, przemysłowy proces masowego pakowania butelek z napojami w zgrzewki (palety) w określony rodzaj folii termokurczliwej. Proces ten przeprowadzano z wykorzystaniem pakowarki z tunelem grzewczym zasilanym gazem ziemnym (pozdrodział 3.1) oraz pakowarki z tunelem grzewczym zasilanym energią elektryczną (pozdrodział 3.2). Opisano charakterystykę wymienionych pakowarek, będących obiektami przesyłowymi w zakładzie przesyłowym produkującym napoje, poprzez opis poszczególnych modułów procesowych, takich jak moduł doprowadzający, moduł formatujący, moduł zawijający oraz moduł obkurczający (w przypadku pakowarki z tunelem grzewczym zasilanym gazem ziemnym) oraz moduł przenośnikowy i naprowadzający butelki, moduł wybierania i oddzielania produktów, moduł owijania oraz moduł zgrzewania.

W czwartym rozdziale opisano metody badań: a) laboratoryjnych, b) symulacyjnych oraz c) przemysłowych.

Badania laboratoryjne skupiały się na określeniu właściwości użytkowych folii termokurczliwych zawierających różny udział tworzywa pochodzącego z recyklingu w aspekcie przydatności tego rodzaju materiału owinięciowego w procesie pakowania. Obejmowały wyznaczenie grubości folii, badanie swobodnej kurczliwości liniowej folii termokurczliwej, badanie odporności na uderzenie metodą swobodnie spadającego grotu, oznaczenie wytrzymałości na rozdieranie metodą Elmendorfa, oznaczenie wytrzymałości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu.

Badania symulacyjne obejmowały weryfikację oddziaływań badanego procesu dla następujących kategorii szkód: zdrowie ludzkie, ekosystemy i zasoby, a także wyznaczenie najbardziej obciążającego otoczenie etapu procesu masowego pakowania butelek.

Badania przemysłowe skupiały się na opracowaniu modeli matematycznych wskaźników charakteryzujących dany proces produkcyjny, tj. wskaźnika całkowitego zużycia energii, wskaźnika energii jednostkowej, procentowego wskaźnika szkodliwości procesu oraz procentowego wskaźnika efektywności procesu.

Rozdział piąty poświęcony jest prezentacji wyników przeprowadzonych badań oraz analizie tych rezultatów. Zamieszczono w nim wyniki badań: a) laboratoryjnych, dotyczących wyznaczenia grubości folii, badania swobodnej kurczliwości liniowej folii termokurczliwej, badania odporności na uderzenie metodą swobodnie spadającego grotu, oznaczenia wytrzymałości na rozdieranie metodą Elmendorfa oraz oznaczenia wytrzymałości

---

mechanicznych przy statycznym rozciąganiu, b) symulacyjnych, związanych z określeniem wpływu zużycia materiałów i surowców na szkodliwość procesu masowego pakowania butelek, wpływu procesu masowego pakowania butelek na szkodliwość w systemie technicznym oraz wpływu zmiany źródła pozyskiwania energii do zasilania procesu masowego pakowania butelek na jego szkodliwość oraz c) przemysłowych, w których analizowano i oceniono proces masowego pakowania butelek na podstawie opracowanych wskaźników.

Ostatni rozdział szósty stanowi podsumowanie rozprawy doktorskiej, w którym sformułowano, na podstawie otrzymanych wyników, wnioski poznawcze, aplikacyjne oraz rozwojowe.

Rozprawa składa się z 126 stron i zawiera 58 rysunków oraz 21 tabel. W rozprawie znajduje się również streszczenie w języku polskim (str. 119) i angielskim (str. 120), wykaz używanych w rozprawie skrótów (str. 4) oraz definicje określeń zastosowanych w rozprawie (str. 5), a także spis rysunków (str. 121) i spis tabel (str. 125). Cytowana literatura obejmuje 157 pozycji, przygotowanych w porządku alfabetycznym i obejmuje publikacje polskie oraz pozycje zagraniczne w języku angielskim. W zestawieniu literatury ujęto m.in. 11 norm (poz. 88, 104-113), 3 raporty (poz. 104, 117, 118), 2 instrukcje (poz. 55, 56), dyrektywę (poz. 94), 2 ustawy (poz. 137, 138), słownik (poz. 129) oraz 5 źródeł internetowych (poz. 147-151), przy czym trudne do zidentyfikowania są następujące publikacje (poz. 13, 14, 51, 53, 62, 124, 128, 141). W wykazie literatury znajduje się jedna współautorska publikacja Doktorantki (poz. 139). Uważam, przygotowanie wykazu używanych w rozprawie skrótów oraz definicje określeń zastosowanych w rozprawie są przydatne do usystematyzowania terminologicznego.

W rozprawie Doktorantka nie ustrzegła się jednak pewnych nieścisłości i uproszczeń, które przedstawiono w punkcie 3 recenzji.

### **3. Ocena ogólna rozprawy**

Ocena stanu wiedzy opisana w rozdziale drugim eksplikuje, że podjęcie się opracowania zakresu i rozwiązania problematyki rozprawy jest celowe, jak również uzasadnione. Analiza ta pozwoliła na wskazanie niewystarczającej i niedostatecznej wiedzy dotyczącej zagadnień wpływu poszczególnych cech i parametrów procesu pakowania produktów spożywczych

---

(zwłaszcza butek z napojami w folię termokurczliwą) na szkodliwość w systemie technicznym. Dzięki temu możliwe było określenie celów rozprawy, problemów badawczych w obszarze inżynierii mechanicznej oraz opracowanie planu badań zawierającego badania laboratoryjne, symulacyjne oraz przemysłowe związane z analizowanym zagadnieniem, który pozwoli na zrealizowanie postawionych celów (co zamieszczono w rozdziale 1).

Moim zdaniem cel i zakres pracy powinien być zamieszczony po rozdziale 2: Analizie stanu wiedzy, gdyż tak jak Doktoranta wymienia w punkcie 1.2 „Na podstawie przeprowadzonej analizy stany wiedzy i praktyki...”. Pierwszym etapem powinno być przeprowadzenie stanu literatury z określonego zakresu wiedzy, a kolejnym etapem powinno być sformułowanie, na podstawie wniosków płynących z analizy stanu wiedzy, celu/celów i zakresu pracy.

W rozdziale drugim pojawiają się pewne nieścisłości terminologiczne, gdyż moim zdaniem procesy przetwórcze stanowią rodzaj procesów produkcyjnych

Zgodnie z definicją przedstawioną np. w Encyklopedii Zarządzania<sup>1</sup>, „**proces produkcyjny** (proces produkcji) to całokształt zjawisk i celowo podejmowanych działań, które sprawiają, że w przedmiocie pracy poddanym ich oddziaływaniu stopniowo zachodzą pożądane zmiany”. Ogólnie proces produkcyjny jest to całokształt wzajemnie powiązanych działań pracowników i środków pracy, związanych z przekształcaniem surowców czy półproduktów w wyroby gotowe, a efektem ekonomicznym jest wartość dodana. Z kolei w przedsiębiorstwach przemysłowych mogą występować dwa podstawowe rodzaje procesów produkcji: procesy wydobywcze oraz procesy przetwórcze, które te ostatnie polegają na przetwarzaniu surowców i materiałów na wyroby gotowe. Dlatego uważam, że w pracy powinno stosować się wyrażenie albo ogólnie „proces produkcyjny”, albo doprecyzowując „proces produkcyjny przetwórczy”. Ponadto w odniesieniu do powyższych informacji wypunktowanie „źródła emisji gazów cieplarnianych związanych z działalnością człowieka” w podrozdziale 2.2 jest nieco chaotyczne. Informacje te powinny być bardziej usystematyzowane (uszeregowane).

Doktorantka w rozdziale trzecim wspomina, że dokonano porównania procesów pakowania przeprowadzonych na dwóch pakowarkach różniących się sposobem zasilania tunelu grzewczego, w którym folia termokurczliwa jest obkurczana wokół pogrupowanych butelek. W pracy przedstawiono i dość szczegółowo opisano poszczególne moduły dwóch pakowarek, ilustrując je odpowiednimi schematami i zdjęciami rzeczywistych modułów w

---

<sup>1</sup> [https://mfiles.pl/pl/index.php/Proces\\_produkcyjny](https://mfiles.pl/pl/index.php/Proces_produkcyjny)

---

określonym przedsiębiorstwie, jednakże zabrakło w tym rozdziale przedstawienia konkretnych parametrów technologicznych poszczególnych etapów pakowania (oczywiście o ile było możliwe pozyskanie ich od zakładu produkcyjnego) i porównania tych procesów w oparciu o te parametry. Nie przedstawiono także porównania procesów pakowania uwzględniając ewentualnie inne ogólne wskaźniki lub czynniki (wymienione w początkowym fragmencie rozdziału 3), które nie są danymi objętymi tajemnicą technologiczną.

Ponadto Doktorantka przedstawia, że „obiektem badań jest rzeczywisty, przemysłowy proces masowego, zbiorczego pakowania butelek”, czy też „grupy butelek”; „grupy produktów” „pogrupowanych butelek” itp. Moim zdaniem Doktorantka powinna raczej stosować w tym rozdziale (i w całej pracy) sformułowania dotyczące rodzaju analizowanego opakowania, zgodnie z terminologią zamieszczoną Unijnej Dyrektywy 94/62/WE<sup>2</sup>, tj. opakowanie zbiorcze. Opakowanie butelek analizowane w pracy jest opakowaniem zbiorczym, składającym się z sześciu opakowań jednostkowych<sup>3</sup> (handlowych) butelek, które zgodnie z definicją zawiera wielokrotność opakowań jednostkowych produktów, niezależnie od tego, czy są one przekazywane użytkownikowi, czy też służą zaopatrywaniu punktów sprzedaży i które można zdjąć z produktu bez naruszania cech produktu.

W tym rozdziale zabrakło mi przedstawienia informacji dotyczącej określenia ilości produkowanych zgrzewek, ilości zgrzewek umieszczanych na paletowej jednostce ładunkowej (oraz określenie jakiego rodzaju jest to paleta), a w konsekwencji: ile sztuk zgrzewek butelek z napojami jest uznawane za „proces masowy”?

Na rys. 4 i 14 przedstawiona jest ilość butelek (6 sztuk) wchodzących w skład opakowania zbiorczego w formie zgrzewki, ale nie zauważyłam w tekście literalnie wskazanej ilości butelek e opakowaniu zbiorczym, choć stanowi to tylko informację taka porządkującą.

Moim zdaniem w tekście lub wykazie definicji określeń użytych w rozprawie powinno pojawić się określenie „procesu masowego”. W literaturze przedmiotu z reguły można wyróżnić, uwzględniając typ produkcji, produkcję: masową, seryjną (małoseryjną, średnioseryjną i wielkoseryjną) oraz jednostkową i raczej nie występuje pojęcie „proces masowy”, dlatego warto podać jego określenie sensu stricto.

---

<sup>2</sup> DYREKTYWA 94/62/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 20 grudnia 1994 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych (Dz.U.U.E.L.1994.365.10)

<sup>3</sup> USTAWA z dnia 13 czerwca 2013 r. o gospodarce opakowaniami i odpadami opakowaniowymi

---

W rozdziale 4 zaprezentowano schemat relacji zmiennych zależnych i niezależnych procesu pakowania butelek (rys. 22), jednakże nie przedstawiono informacji, która z przedstawionych w rozdziale 3 pakowarka została uwzględniona w analizie. W ogólnym opisie rozdziału 4, nie jest wskazane literalnie czy obie linie technologiczne pakowania butelek są poddane zaplanowanym badaniom.

Opis zmiennych zależnych i niezależnych procesu pakowania zamieszczony w opisie rys. 22 powinien być przygotowany zgodnie z kolejnością wykazania symboli. Dla formalności powinny być także podane znaczenia oznaczeń  $C_2$  i E. Moim zdaniem, jeżeli w opisie funkcji (str. 44) występują te same symbole, zbyteczne jest ponowny opis oznaczeń symboli, opisanych w opisie rys. 22. Wspomniana funkcja powinna zostać oznaczona numerem.

Wykaz i zakres badań przedstawiono w czytelnej formie na rys. 23, która umożliwia zobrazowanie konsekwencji realizowanych badań, a w następstwie osiągnięcie celu rozprawy.

Badania laboratoryjne dotyczyły analizy właściwości użytkowych różnych rodzajów folii termokurczliwych, zawierających różny udział tworzywa pochodzącego z recyklingu w odniesieniu do przydatności tych folii do procesów pakowania. Jednakże zabrakło przedstawienia rodzajów (wariantów) badanych folii wraz z procentową zawartością tworzywa pochodzącego z recyklingu, a także charakterystyki tworzywa, z którego wykonana jest folia. Uważam to za dość poważne niedopatrzenie, gdyż przecież dla określonych rodzajów folii przeprowadzone są wyszczególnione na rys. 23 badania laboratoryjne.

Doktorantka zdefiniowała w podrozdziale 4.1 kierunki wykonywanych niektórych badań, tj., kierunek maszynowy i kierunek poprzeczny, przy czym ze względów bardziej porządkowych nie lepiej byłoby w części badawczej stosować określenia: kierunek wzdłużny (ewentualnie równoległy) i prostopadły? Wydaje mi się, że wówczas w sposób bardziej wizualny, odnosiłoby się to kierunku, w którym określane są właściwości próbki, choć oczywiście terminy występujące w pracy zostały sprecyzowane oraz występują w literaturze, zwłaszcza dotyczącej wytwarzania folii.

W przypadku próbek przeznaczonych do pomiarów grubości folii (pkt 4.1.1) oraz oznaczenia wytrzymałości na oddzieranie (4.1.4) oraz warto byłoby podać wymiary próbek przeznaczonych do tych badań lub wymiary szablonu (4.1.4). Podczas przygotowywania próbek foliowych nie wspomniano w jaki sposób zostały one wykonane: jakimi metodami, narzędziami i z jaką tolerancją wymiarową.



---

Brak jest wyjaśnienia oznaczeń stosowanych folii (str. 49 i dalsze strony), np. co oznacza symbol folii: „50rLPDE/50LDPE”, „0rLPDE/100LDPE” itp.? Brak tych oznaczeń utrudnia identyfikację próbek podczas interpretacji wyników zamieszczonych w rozdziale 5. Ponadto zdanie (str. 56) „Obie pakowarki na produkcję 1000 zgrzewek zużyły 35,35 kg folii, w tym 89% stanowiła folia 0rLPDE/100LDPE, a 11% folia z dodatkiem recyklatów.” Zostało nieprecyzyjnie sformułowane. Trudno jest zrozumieć jakie folie są wymienione: w pierwszym przypadku biała („white”), czy kolorowa („color”), a w drugim do jakiej konkretnie folii z jakim dodatkiem recyklatu jest przedstawione to porównanie.

Informacje dotyczące analizy statystycznej moim zdaniem powinny zostać bardziej szczegółowo przedstawione, dodatkowo w odrębnym podrozdziale.

Zaletą rozdziału czwartego w odniesieniu do badań laboratoryjnych jest przedstawienie szczegółowych metod i wykorzystanych norm do wyznaczenia poszczególnych właściwości użytkowych badanych folii, dzięki czemu możliwa jest identyfikacja warunków przeprowadzania prób i ewentualne odtworzenie warunków eksperymentu w odniesieniu do innych folii w celu badań komparatywnych oraz wiarygodna Interpretacja porównawcza.

Badania symulacyjne (podrozdział 4.2) odnosiły się do analizy cyklu życia „procesu masowego” pakowania butelek, z uwzględnieniem poszczególnych etapów produkcyjnych wytwarzania opakowań zbiorczych – zgrzewek butelek. Ich celem była identyfikacja szkodliwości oddziaływania procesu pakowania butelek w folię termokurczliwą – wykonanie opakowań zbiorczych w formie zgrzewek, identyfikacja etapów i parametrów procesu pakowania o największej szkodliwości na otoczenie systemu technicznego, a także opracowanie wytycznych dla poprawy wskaźników szkodliwości i rozwoju systemów masowego pakowania. W przeprowadzonych badaniach symulacyjnych wykorzystano następujące metody: metodę analizy cyklu życia (LCA), metodę ReCiPe 2016 oraz IPCC 2021, a także normy PN-EN ISO 14040:2009 oraz PN-EN ISO 14044:2009, stosowanie do danego aspektu badań symulacyjnych. W podrozdziale tym określono etapy wchodzące w skład granic rozpatrywanego procesu pakowania butek, analizę zbioru wejść (m.in. materiały, media) i wyjść (m.in. odpady), co zilustrowano także schematami zamieszczonymi na rys. 32 i rys. 33 oraz wytyczne interpretacji wyników. Moim zdaniem Doktoranta powinna uzasadnić przyjęcie „wartości funkcjonalnej” w postaci 1000 opakowań zbiorczych w formie zgrzewek. Nie występuje informacja dotycząca rocznej ilości opakowań zbiorczych w postaci zgrzewek produkowanych w danym zakładzie w analizowanych latach (2021 i 2022), co pozwoliłoby na

---

pełniejszą analizę procesu pakowania. Ta informacja jest o tyle zasadna, że Doktoranta w wielu miejscach pracy stosuje określenie „proces masowy”, więc czy 1000 opakowań zbiorczych stanowi „proces masowy”? Ponadto braki w postaci zgrzewek niedających się do transportu w wysokości 1% zostały odniesione do całej rocznej produkcji, a nie do przyjętej ilości opakowań zbiorczych.

Badania przemysłowe obejmowały „uporządkowanie danych o zużyciu materiałów, surowców, energii, emitowanych odpadach oraz powstałych zgrzewkach w procesie masowego pakowania butelek, opracowanie wskaźników oceny procesu w aspekcie jego szkodliwości, a także ocenę czterech wariantów procesu różniących się rodzaje stosowanych folii oraz sposobem zasilania pieca grzewczego.” Oceniono szkodliwość procesu w aspekcie zużycia energii całkowitej i zużycia energii na jednostkę masy wyprodukowanych opakowań zbiorczych (zgrzewki) butelek za pomocą wskaźników całkowitego zużycia energii i energii jednostkowej oraz w aspekcie efektywności wykorzystania zasobów i produkcji odpadów z użyciem procentowego wskaźnika szkodliwości procesu, a także procentowego wskaźnika efektywności procesu.

Zaletą rozdziału czwartego, uwzględniając badania przemysłowe, jest określenie autorskich modeli matematycznych w/w wskaźników charakteryzujących analizowany proces produkcyjny pakowania butelek w folię termokurczliwą, co stanowiło cel badań przemysłowych. Wprawdzie w podrozdziale 4.3 zdefiniowano model matematyczny i przedstawiono etapy powstawania modeli matematycznych, jednak moim zdaniem zabrakło bardziej szczegółowego przedstawienia konkretnej przyjętej metodyki tworzenia modeli tych wskaźników. Natomiast sposób graficzny prezentacji wskaźników jest bardzo czytelny.

Na podkreślenie zasługuje czytelny i logicznie opracowany plan różnego rodzaju badań, pozwalający uzyskać odpowiedzi na postawione zadania badacze i zrealizować cel rozprawy. Pewnym mankamentem rozdziału czwartego jest brak niektórych podstawowych informacji na temat obiektów rozważań w poszczególnych rodzajach badań i ich oznaczeń, a przecież ten rozdział opisuje metodykę zaplanowanych badań. Oprócz tego występują pewne nieprecyzyjne sformułowania, utrudniające m.in. identyfikację próbek.

Rozdział 5 prezentuje wyniki badań pogrupowane stosownie do rodzaju badań, przedstawionych w metodyce w rozdziale 4.

---

W podrozdziale 5.1.1 niekiedy powtarzają się informacje zawarte w punkcie 4.1.1. Pewnym mankamentem rozdziału 5 jest brak określenia rodzaju (składu) badanych folii, które przedstawiono w Tabeli 5. W tym podrozdziale wymienione są producenci (A i B) oraz dwa rodzaje folii: biała i kolorowa, ale nadal brak jest jakichkolwiek informacji na temat rodzaju tych folii. Brak jest opisu zawartości recyklatu w składzie folii, a taki opis porządkowałby dalsze opisy i interpretację wyników. W odniesieniu do tej uwagi, zapis w podrozdziale 5.1.2 w brzmieniu: „..folie z większą zawartością recyklatów w składzie...” byłyby bardziej identyfikowalne z konkretnym rodzajem folii.

Zazwyczaj współczynnik zmienności podawany jest w procentach i jest miarą względną - zależną od wielkości średniej arytmetycznej oraz jest stosowany najczęściej przy porównywaniu zróżnicowania cechy w dwóch różnych rozkładach. Natomiast w tabeli 10 (pkt 5.1.5) oraz tabeli 14 (pkt 5.1,5.3) współczynnik zmienności podany jest w jednostkach stosowanie do zestawionej w tabeli wielkości. Dlatego mam wątpliwość, czy na pewno obliczony jest współczynnik zmienności.

Na stronie 66 pojawia się stwierdzenie: „Z otrzymanego wykresu (rys. 35) wynika, że czynnik, jakim jest barwa, nie wpływa na kurczliwość badanych próbek folii”. Czy kolor był analizowanym czynnikiem? Czy wpływa on na właściwości folii? Na jakiej podstawie przedstawiono w/w sformułowanie?

W rozdziale 5, rezultaty badań laboratoryjnych poddano analizie statystycznej, wykorzystując odpowiednie modele i testy statystyczne, co wpływa na wiarygodność opracowanych wniosków. Moim zdaniem szczegółowy opis przyjętych modeli i testów statycznych powinien zostać uwzględniony w metodyce badań wraz z podaniem informacji, czy analizy te wykonano z wykorzystaniem konkretnego oprogramowania. Uważam, że zastosowanie analizy statycznej (odpowiednich modeli i testów) jest zasadne ze względu na duże rozbieżności wyników w poszczególnych wariantach próbek.

Badania symulacyjne polecały na analizie cyklu życia procesu pakowania butek w formę termokurczliwą, uwzględniając określone granice systemu technicznego, przy czym informacje dotyczące zastosowanego programu do tego celu warto byłoby umieścić w metodyce badań.

Drzewa procesów (rys. 44 – rys. 47), przedstawiające przepływy materiałów, energii i ich procentowy udział w potencjalnym oddziaływaniu na otoczenie (w ramach granic przyjętego systemu technicznego), umożliwiły określenie zużycia materiałów i surowców na szkodliwość

---

w systemie technicznych: procesie pakowania butelek. Ponadto określono wpływ parametrów i etapów procesu masowego pakowania butelek na szkodliwość w systemie technicznym w odniesieniu do jakości ekosystemów, zdrowia ludzkiego, zmniejszenia się zasobów materialnych. Zauważono m.in., że zmiana rodzaju folii i zasilania procesu pakowania wpływa na zmianę w oddziaływaniach w wymienionych kategoriach. Wyznaczono także ilość gazów cieplarnianych (określonej za pomocą śladu węglowego) w analizowanych czterech wariantach procesu pakowania butelek w folię termokurczliwą..

Podrozdział dotyczący wyników badań symulacyjnych uważam za wartościowy i zawierający cenne informacje, które mogą być wykorzystane podczas projektowania systemów technicznych, zmian technologicznych i materiałów oraz podejmowania działań prewencyjnych w odniesieniu do ograniczenia szkodliwości w systemie technicznym.

Badania przemysłowe przeprowadzono przyjmując 4 warianty procesu pakowania, uwzględniając opracowane wskaźniki, scharakteryzowane w podrozdziale 4.3, a wyniki opisano w tabeli 22. Przeprowadzona analiza wyników badań przemysłowych pozwala na stwierdzenie, że opracowane wskaźniki mają charakter użyteczny oraz aplikacyjny, a także mogą być wykorzystane do oceny i porównywania procesów pakowania butelek w folię termokurczliwą.

Podsumowując, w tym rozdziale przedstawiono różnorodne i kompleksowe wyniki badań, poczynwszy od badań laboratoryjnych poprzez badania symulacyjne do badań przemysłowych. Na uwagę zasługuje także szczegółowa analiza i dyskusja obszernych i interesujących wyników badań. Doktorantka odniosła się także do rezultatów prezentowanych w pracach innych autorów, dzięki czemu możliwe było porównanie własnych wyników i ewentualne potwierdzenie zauważonych zależności oraz trendów. Uważam, że jest to mocna strona rozprawy doktorskiej, gdyż oprócz wymiaru modelowo-projektowego, rezultaty badań, opracowane wskaźniki i modele mają także wymiar aplikacyjny, co może przełożyć się na uzyskanie wielu unikalnych informacji wspomagających poprawę efektywności i zmniejszenia szkodliwości działania procesów produkcyjnych pakowania, a na większym stopniu szczegółowości – systemów produkcyjnych. Pewnym niedostatkim jest brak pełnego przedstawienia informacji związanych przede wszystkim z charakterystyką wariantów próbek foliowych, co przekłada się na pojawienie się w pracy nieprecyzyjnych sformułowań.

---

W rozdziale szóstym zamieszczono oprócz podsumowania i wniosków sformułowanych na podstawie rezultatów przeprowadzonych badań, także dalsze kierunki działań przyczyniające się do dalszego rozwoju maszyn, a także ulepszania cech i parametrów procesu pakowania butelek – formowania opakowań zbiorczych w postaci zgrzewek z wykorzystaniem folii termokurczliwej (określone jako wnioski rozwojowe). W podsumowaniu podkreślono przyczyny i zasadność podjęcia się przez Doktorantkę tematyki rozprawy.

Przedstawiono także odniesienie się do realizacji oraz wniosków (zamieszczonych w rozdziale pierwszym) sześciu zadań badawczych, dzięki którym możliwe było osiągnięcie głównych celów pracy. Przedstawiono to w bardzo harmonijnej formie, przytaczając treści poszczególnych zadań oraz wnioski sformułowane na podstawie rezultatów zrealizowanych badań, zaplanowanych stosowanie do rodzaju zadania badawczego. Dzięki czemu możliwa była czytelna i kompleksowa ocena realizacji postawionych zadań badawczych i wniosków z nich płynących oraz w końcowym efekcie: zrealizowanie celu rozprawy w postaci badań i analizy wpływu cech i parametrów procesu termokurczliwego masowego pakowania butelek z napojami na szkodliwość w systemie technicznych oraz opracowanie modeli matematycznych podstawowych wskaźników charakteryzujących rozpatrywany proces. Ponadto wykonane badania i sformułowane na podstawie ich wyników wnioski, umożliwiły przedstawienie odpowiedzi na postawione w rozdziale pierwszym trzy pytania problemowe. Realizacja założeń przedstawionych w niniejszej rozprawie przyczyniła się do wykazania, że na podstawie identyfikacji głównych źródeł negatywnych oddziaływań badanego procesu na otoczenie, możliwe jest zaproponowanie i wdrożenie konkretnych zmian (np. w postaci zmian rodzaju tworzywa opakowaniowego, tu: z dodatkiem recyklatów) w celu ich minimalizacji. W pracy wykazano, że zmiana typu folii na folię z dodatkiem recyklatu wpływa m.in. na zmniejszenie śladu węglowego, czy też na oddziaływanie analizowanego procesu na takie kategorie szkód, jak: zdrowie ludzkie, ekosystem i zubożenie.

Dodatkowo w pracy wykazano, że wyznaczone modele matematyczne wskaźników opisujących rozważany proces pakowania butelek w folię termokurczliwą, mogą być stosowane podczas eksploatacji maszyn pakujących – pakowarek, wykorzystywanych w w/w procesie. W odniesieniu do tych wskaźników przedstawiono, że najbardziej energochłonnym etapem procesu pakowania jest moment zgrzewania folii i z tego względu jest obszar, w którym należy podjąć działania (modyfikacje) np. konstrukcyjno-procesowe w celu zmniejszenia energochłonności i poprawy efektywności procesu.

#### 4. Uwagi dotyczące edycji rozprawy

Rozprawa napisana jest w sposób przejrzysty, a na podkreślenie zasługuje duża staranność edycyjna, choć pojawiają się pewne błędy edycyjne oraz interpunkcyjne, które przedstawiono poniżej.

1. W kilku miejscach pracy zastosowano nieprawidłową kolejność numerów cytowanej literatury, np. : „[144, 44]” – str. 14; „[84, 108, 39]” – str. 15 i na innych stronach (16,19, 24).
2. Wydaje się, że w języku polskim raczej powinno być stosowane wyrażenie „i inni” lub „i in.” w przypadku cytowania pozycji literaturowych współautorskich zamiast „et al.” (np. „Patel et al. [96]” i inne pozycje).
3. Str. 9 – w spisie literatury pod pozycją [70] pierwsze nazwisko brzmi: „Koinig”, a w tekście występuje „Koining”.
4. Str. 9 – w spisie literatury pod pozycją [76] nazwisko brzmi: „Kurzydło”, a w tekście występuje „Costamagna et al. [76]”.
5. Str. 23 – w przypadku rys. 1 w celu zwiększenia jego czytelności można byłoby zastosować większą czcionkę w opisie rysunku.
6. Od str. 63 występuje niespójność numerów tabel z odwołaniami do nich w tekście.
7. Str. 56 – pojawił się błąd w postaci odwołania się do takich samych tabel: „(tab. 3 i 3)”.
8. Rozdział 5:
  - a) Generalnie na rysunkach prezentujących wyniki badań opisy osi powinny być bardziej czytelne pod względem wielkości czcionki.
  - b) W tabelach 6, 7, 8, 12, 13 powinien znaleźć się opis wielkości, dla której podana jest średnia wartość.
  - c) W odniesieniu do rys. 34, rys. 35, rys. 39, rys. 40, rys. 41, rys. 43 warto byłoby nieco bardziej czytelnie przedstawić opis osi x.
  - d) Warto byłoby wyjaśnić lub dokonać innego opisu osi x na rys. 35, który dodatkowo powinno się rozdzielić na rys. 35 a) i b) gdyż inne są analizowane wielkości.
  - e) Wystąpiło dwukrotnie błędne odniesienie do tabeli na stronie 71, gdyż powinna to być tabela 10.
  - f) Na rys. 41 brak jest opisu osi x.
  - g) Moim zdaniem Doktoranta powinna stosować polskie nazewnictwo w opisie folii, które stosuje w komentarzach do wyników badań.

- 
- h) Str. 77 – niewielki błąd edycyjny związany z formatowaniem tekstu.
  - i) Str. 85 i 86 oraz dalsze – nie zamieszczono wyjaśnienia jednostek stosowanych do opisu kategorii szkód (i jednocześnie kategorii wpływ), które podane są w języku angielskim.
  - j) Str. 92 i dalsze – nie zamieszczono wyjaśnienia jednostki „Pt”.
  - k) W kilku fragmentach pracy należałoby ujedynolnić styl opisu wyników pomiarów – ilość miejsc po przecinku, choć praca pod tym względem cechuje się dużą starannością.

Przedstawione powyżej uwagi edycyjne i formalne nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy.

## **5. Wnioski końcowe**

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter oryginalnej pracy naukowej, konsolidującej w sposób zrównoważony elementy poznawcze i praktyczne. Została ona przedstawiona zgodnie z metodologią prowadzenia i prezentowania prac naukowych.

Wnioski sformułowane w rozprawie mają istotne znaczenie dla lepszego poznania zagadnień związanych z wyznaczeniem wpływu cech i parametrów analizowanego procesu pakowania na szkodliwość w systemie technicznym. Na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych, symulacyjnych i przemysłowych oraz analizie uzyskanych rezultatów możliwe było zidentyfikowanie głównych źródeł negatywnych oddziaływań przedmiotowego procesu na otoczenie oraz opracowanie zaleceń i wytycznych dotyczących ulepszenia procesu pakowania butelek w folię termokurczliwą w celu minimalizacji tych negatywnych oddziaływań. Ponadto opracowane modele matematyczne wskaźników opisujących rozważany proces pakowania, mogą być stosowane podczas eksploatacji maszyn pakujących wykorzystywanych w podobnych procesach pakowania.

Uzyskane wyniki badań stanowią weryfikację założonych celów rozprawy i pozwalają na wniesienie istotnej wiedzy w wybrane obszary inżynierii mechanicznej związanej z inżynierią produkcji. Na uznanie zasługuje bardzo obszerny i kompleksowy zakres różnego rodzaju badań, które były realizowane na wielu stanowiskach badawczych oraz z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania, które wymagają przy tym dużej wiedzy teoretycznej i praktycznej, uzupełniony o staranną edycję rozprawy.

Doktorantka w swojej pracy nie uniknęła pewnych nieścisłości terminologicznych, braku niektórych opisów, czy błędów edycyjnych, ale pomimo przedstawionych pewnych uwag

---

recenzowaną rozprawę doktorską mgr inż. Patrycji Walichnowskiej p.t.: „Wpływ cech i parametrów pakowania butelek w folię termokurczliwą na szkodliwość w systemie technicznym” oceniam bardzo pozytywnie. Doktorantka w konsekwentny sposób zrealizowała przyjęte cele rozprawy, wskazując na możliwość wyodrębnienie cech i parametrów procesu pakowania butek na szkodliwość w systemie technicznym i podjęcie działań zmierzających do zminimalizowania ich oddziaływania takim systemie.

Praca została wykonana na dobrym poziomie merytorycznym, ze względu zarówno na sposób jej wykonania, jak i zakres przeprowadzonych badań doświadczalnych, choć pojawiają się niewielkie zastrzeżenia dotyczące obu części rozprawy.

Uważam, że treść pracy wpisuje się w krajowe inteligentne specjalizacje (KIS) w obszary związane z innowacyjnymi technologiami i przemysłami przemysłowymi, a także ze zrównoważoną energetyką. Należy podkreślić, że zagadnienia związane z branżą opakowań są ważnym obszarem rozwoju gospodarki, gdyż zwiększająca się liczba opakowań podąża za zmianami, trendami i wymaganiami ekonomicznymi i ekologicznymi, a także za rozwojem gospodarczym państwa oraz rozwojem cywilizacyjnym społeczeństwa.

Przedstawiona do oceny praca doktorska, oprócz aspektów naukowych, ma bardzo duże znaczenie poznawczo-aplikacyjne, a wpisując się w zagadnienia szkodliwości systemów technicznych oraz działań mających na celu rozwoju gospodarki przy równoczesnym ograniczeniu nadmiernego zużycia zasobów naturalnych, w odniesieniu do założeń ekorozwoju, a w efekcie do zrównoważonego rozwoju, stanowi cenne opracowanie, także w obszarze inżynierii produkcji i inżynierii mechanicznej.

Na podstawie szczegółowej analizy przedłożonej rozprawy doktorskiej mgr inż. Patrycji Walichnowskiej p.t.: „Wpływ cech i parametrów pakowania butelek w folię termokurczliwą na szkodliwość w systemie technicznym” oceniam, że rozprawa ta spełnia warunki określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2018, poz. 1668) w odniesieniu do rozpraw doktorskich. Upoważnia mnie to do przedstawienia wniosku o dopuszczenie Pani mgr inż. Patrycji Walichnowskiej do dalszego procedowania przez Radę naukową dyscypliny inżynieria mechaniczna Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich.

Anne Ludwisi