



dr hab. inż. Michał Bembenek, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Systemów Wytwarzania

Kraków, 15 stycznia 2024r.

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Patrycji Walichnowskiej
pt. „Wpływ cech i parametrów pakowania butelek w folię termokurczliwą na
szkodliwość w systemie technicznym” realizowanej w dziedzinie nauk inżynieryjno-
technicznych, dyscyplinie: inżynieria mechaniczna”**

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą wykonania recenzji jest pismo o sygnaturze 3/RNCS.520.6.2023 skierowane od prof. dra hab. inż. Dariusza Borońskiego – Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Bydgoskiej z dnia 20.12.2023r.

2. Celowość podjęcia tematu

W Polsce obserwuje się ciągły wzrost zużycia tworzyw sztucznych do produkcji materiałów opakowaniowych. Jest to spowodowane wzrostem ilości stosowanych opakowań polimerowych praktycznie w każdym sektorze gospodarki. Proces pakowania folią termokurczliwą produktów dystrybuowanych w butelkach szklanych czy plastikowych w końcowej fazie ich wytwarzania jest operacją obecnie znajdującą zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, najczęściej spożywczego oraz chemicznego. Proces ten stanowi formę przygotowania towaru do transportu poprzez jego uszeregowanie, zabezpieczenie oraz utworzenie zwartej struktury pozwalającej na

jej łatwiejsze przemieszczanie, lokowanie oraz składowanie. Niewątpliwą zaletą tej metody jest bardzo ściśle spakowanie towaru z ograniczeniem zajmowanej przez niego objętości do minimum. Pakowanie termiczne opakowań szklanych oraz plastikowych jako forma przygotowania towaru do transportu jest obecnie bardzo często stosowana. Wciąż rosnąca popularność zastosowania tworzyw sztucznych w procesach produkcyjnych opakowań niesie za sobą także negatywne aspekty. Jest to przede wszystkim obciążenie dla środowiska. Szacuje się, że odpady z tworzyw sztucznych stanowią około 15% wszystkich odpadów komunalnych wytwarzanych przez człowieka z czego ponad połowę stanowią opakowania. Właściwy dobór surowców do pakowania z których produkowane są folie termokurczliwe jak i zastosowanie do ich produkcji materiałów z recyklingu a także poszukiwanie rozwiązań wpływających na ograniczenie konsumpcji energii są więc pożądanymi kierunkami badawczymi. Dogłębne rozpoznanie procesów i parametrów foliowania termicznego produktów, analiza wpływu cech i parametrów procesu pakowania butelek w folię termokurczliwą na szkodliwość w systemie technicznym w tym z uwzględnieniem pełnego cyklu życia produktu jest więc podstawą racjonalnego rozwiązywania problemów środowiskowych. Biorąc pod uwagę powyższe uważam więc, że problem analizy procesowej, energetycznej i środowiskowej procesu masowego pakowania folią termokurczliwą rozpatrywany w niniejszej rozprawie doktorskiej został podjęty właściwie i znajduje odzwierciedlenie w zapotrzebowaniu wiedzy na temat tego procesu w gospodarce konsumpcyjnej skierowanej na zrównoważony rozwój człowieka.

3. Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska składa się ze 126 stron. Zawiera ona sześć rozdziałów i dopełniona jest przez wykaz używanych w rozprawie skrótów, wykaz definicji określeń użytych w rozprawie, spis literatury, spis tabel, spis rysunków, streszczenie w języku polskim oraz w języku angielskim. W skład pracy wchodzi 157 pozycji literatury w tym dwie autorstwa doktorantki, 21 tablic oraz 58 rysunków. Dysertacja składa się z części teoretycznej, badawczej oraz modelowo-symulacyjnej. Rozdział pierwszy to wprowadzenie w którym przedstawiono problematykę pracy, jej cel i zakres. W rozdziale drugim autorka przedstawia aktualny stan wiedzy w którym opisuje szkodliwość systemów technicznych oraz metody jej oceny w cyklu życia, procesy produkcyjne, przetwórcze i ich wpływ na otoczenie systemu technicznego, charakterystykę i rolę opakowań z tworzyw sztucznych oraz analizę dostępnych

informacji o foliach termokurczliwych. W tym rozdziale autorka zawarła również informacje o współczesnych trendach dotyczących procesów technologicznych opakowań oraz politykę Unii Europejskiej w zakresie zrównoważonego rozwoju. Scharakteryzowany został wpływ procesów technologicznych na otoczenie oraz sposoby oceny szkodliwości z wykorzystaniem metody Life Cycle Assessment. Rozdział trzeci to charakterystyka obiektu badań ze szczegółowym opisem pakowarek SP A-M z tunelem grzewczym zasilanym gazem ziemnym oraz VEGA HT100 z tunelem grzewczym zasilanym energią elektryczną. Metodyka badań opisana została w rozdziale czwartym. Składa się z trzech części metodyki badań laboratoryjnych (wyznaczenie grubości folii, swobodnej kurczliwości liniowej, odporności na uderzenie, wytrzymałości na rozdzielanie oraz właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu), symulacyjnych (porównanie szkodliwości procesu masowego pakowania w czterech wariantach oraz wskazanie najbardziej obciążającego środowisko etapu procesu) oraz przemysłowych (których celem była obserwacja oraz zebranie danych i sformułowanie własnych modeli matematycznych wskaźników charakteryzujących proces). Kolejny rozdział opisuje uzyskane wyniki badań laboratoryjnych symulacyjnych oraz przemysłowych oraz ich analiza. Pracę kończy podsumowanie zawierające opis wykonanych prac oraz plan dalszych kierunków rozwojowych w tym możliwe do przeprowadzenia analizy oraz działania konieczne do dalszego ulepszenia konstrukcji maszyn pakujących butelki w folię termokurczliwą.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi spójną i logiczną całość w której krok po kroku realizowane są zadania prowadzące do rozwiązania postawionych celów. Przedstawione w niniejszej dysertacji badania szkodliwości obejmowały zakresem przede wszystkim szkodliwość w aspekcie generowania odpadów, zużycia energii, emisji szkodliwych substancji do otoczenia oraz długoterminowych i krótkoterminowych szkód procesu w cyklu życia w odniesieniu do zdrowia ludzkiego, jakości ekosystemów oraz zubożenia zasobów. Pierwszą częścią rozprawy stanowią badania laboratoryjne. Badaniom poddano 6 typów folii: 0rLDPE/100LDPE white, 0rLDPE/100LDPE color, 50rLDPE/50LDPE white, 50rLDPE/50LDPE color, 100rLDPE/0LDPE white oraz 100rLDPE/0LDPE color. Prowadzone badania wykazały, że wzrost zawartości recyklatów w folii, wpływa na zmniejszenie jej wydłużenia niszczącego

oraz wytrzymałości na rozciąganie. Wykazano, że wartość wytrzymałości na rozdzielanie wzrasta wraz z ilością recyklatów w składzie badanych próbek folii. Istotnym wnioskiem z badań jest wykazanie możliwości zmniejszenia temperatury pieca grzewczego, w procesie termokurczliwego pakowania butelek w przypadku użycia do procesu folii z dodatkiem recyklatów. Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych wykazują słuszość zastąpienia przez zakład produkcyjny w procesie masowego pakowania butelek folii 0rLDPE/100LDPE foliami 50rLDPE/50LDPE bez utraty jakości powstałych w ramach procesów opakowań w postaci zgrzewek.

Przeprowadzone badania symulacyjne LCA wpływu czterech wariantów procesu (zastosowanie różnych: pakowarek, rodzaju folii oraz sposobu zasilania procesu zgrzewania) na trzy kategorie szkód, tj. zdrowie ludzkie, ekosystemy i zubożenie zasobów pozwoliły wyznaczyć, że etap zgrzewania folii wywiera największy wpływ na otoczenie systemowe (w kategorii oddziaływania na zdrowie ludzkie 23,08–79,6%, w kategorii ekosystemy 22,87%–83,09%, a w kategorii zubożenie zasobów charakteryzuje od 21,02 do 87,03% negatywnych oddziaływań). W przeprowadzonych analizach autorka udowodniła, że użycie w procesie pakowania folii z dodatkiem recyklatów wpływa na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla, heksafluorku siarki oraz podtlenku azotu. Zmiana stosowanej folii 0rLDPE/100LDPE na folię z udziałem recyklatów w wariantach III i IV przyczyniła się do zmniejszenia udziału folii w całkowitej liczbie oddziaływań badanych wariantów na otoczenie.

Badania przemysłowe obejmowały analizę danych o zużyciu materiałów, surowców, energii, emitowanych odpadach oraz powstałych zgrzewkach w procesie masowego pakowania butelek, a także opracowanie wskaźników oceny procesu w aspekcie jego szkodliwości (całkowitego zużycia energii, energii jednostkowej, procentowego wskaźnika szkodliwości procesu, procentowego wskaźnik efektywności procesu). Otrzymane wyniki udowadniają, że zasilanie pieca grzewczego gazem oraz pakowanie butelek w folie zawierające recyklaty przyczynia się do zwiększenia wskaźnika efektywności procesu oraz zmniejszenia wskaźnika szkodliwości, mimo zwiększenia wartości wskaźników energetycznych.

Zmiana sposobu zasilania pieca grzewczego gazem oraz zastosowanie folii 50rLDPE/50LDPE zamiast 0rLDPE/100LDPE wpływa na zmniejszenie śladu węglowego wyrażonego jako ekwiwalent CO₂ w ustalonych granicach dla przyjętej w ramach analizy jednostki funkcjonalnej. Wykazano, że zmiany źródła zasilania maszyn na energię odnawialną

pochoząca wyłącznie z elektrowni wiatrowych może zmniejszyć negatywnego wpływ badanych wariantów procesu masowego pakowania we wszystkich kategoriach szkód.

Merytorycznie dysertacja stanowi przykład rozwiązania złożonego problemu, którego wyniki są istotne z punktu widzenia praktyki przemysłowej. Formułowane tezy, spostrzeżenia i cele badawcze oraz dobór odpowiednich metod i narzędzi do rozwiązania zadań naukowych w ocenie recenzenta są poprawne. Analiza wyników badań naukowych oraz ich komunikatywne prezentowanie w formie graficznej, tabelarycznej, oraz pisemnej spełniają ogólnie przyjęte wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Postawione w pracy w punkcie 1.2 cele zostały zrealizowane zarówno pod kątem, teoretycznym, eksperymentalnym jak i procesowym.

5. Uwagi krytyczne

1. W pracy brakuje informacji i szczegółowego opisu próbek folii użytych do badań.
2. Dane odchylenia standardowego siły w [N] w tabeli 9 zostały przedstawione nieprawidłowo.
3. Autorka przedstawia alternatywną możliwość zasilania procesu zgrzewania butelek folią termokurczliwą energią pozyskaną z farm wiatrowych zamiast jak to ma obecnie miejsce z europejskiego miksu energetycznego. W pracy nie można doszukać się uzasadnienia dlaczego akurat autorka wzięła pod uwagę rozważania dotyczące energii pozyskanej z wiatru. Zdaniem recenzenta w przypadku małych i średnich przedsiębiorstw bardziej naturalnym byłoby rozważenie pozyskiwanie energii z paneli fotowoltaicznych, który w łatwy sposób można zainstalować.
4. Krytycznie podchodzę do nazwania działań związanych z częścią przemysłową rozprawy jako „badania”. Według recenzenta była to analiza danych dostarczonych przez przedsiębiorstwo wraz z opracowaniem wskaźników energetycznych.

Pod względem edytorskim praca opracowana jest starannie. Autorka nie ustrzegła się jednak kilku błędów edytorskich lub stylistycznych np.:

- str. 8. i inne strony. Sformułowanie et al. jest stosowane w literaturze anglojęzycznej w polskiej wersji powinno brzmieć „i inni”,
- str. 9. Badaniom poddano cztery procesy związane z cementem. W ramach przeprowadzonej analizy otrzymano wynik, że najbardziej intensywnym energetycznie

i emisyjnie procesem podczas produkcji cementu jest wytwarzanie klinkieru – chodziło o wytwarzanie cementu?

- str. 14, 24. Odniesienia do literatury nie są podane w kolejności rosnącej np. [144,44],
- str. 18. podtlenek azotu – nie jest obecnie nazwą rekomendowaną, powinno być tlenek azotu I, lub tlenek diazotu,
- str. 21. w zależności od powierzchni pomieszczenia, czas pogłosu musi mieścić się w przedziale 0,5–0,8, a średni – czy chodzi o sekundy?
- str. 21. podczas procesu tworzenia zgrzewek - wytwarzania zgrzewek?
- str. 22. zebrano ponad 2050 tys. ton odpadów – czy chodzi o 2 mln. 50 tys.?
- str. 23. Dodatkowo stosowanie opakowań z tworzyw sztucznych przyczynia się do zmniejszania ilości paliwa podczas transportu, bowiem ich masa stanowi zaledwie 3,5% całej masy danego produktu, podczas gdy opakowania z tradycyjnych tworzyw osiągają wagę nawet dziesięciokrotnie większą [46, 141, 145]. – nie jest to do końca zrozumiałe i raczej powinno być tu użyte słowo masę niż wagę,
- str. 26. W momencie gdy liczba – brakuje przecinka,
- str. 26. 4R - reduce, reuse, recycle, remover.- czy na końcu nie powinno być remove?
- str. 56. inwentarzowe (tab. 3 i 3) dla – błąd edytorski,
- str. 62. energia brutto zużyta na powstanie szkodliwości podczas realizacji – czy słowo szkodliwości jest tu prawidłowo użyte?
- str. 64. w przedziałach tolerancji podanych przez producenta folii na karcie katalogowej produktu – brak podanych odwołań do źródeł,
- str. 65, 67 – brak opisu w tabeli znaczenia dużych liter,
- str. 72. Rys. 38. Przykładowy wykres siła - wydłużenie – sugeruję zmienić na Wykres zależności,
- str. 77. błąd składu tekstu,
- str. 87. W kategorii szkód ekosystemy użycie folii z dodatkiem – brak cudzysłowu,
- str. 97. Wartości w kolumnie wartości powinny być zapisane w formacie 10^x a nie E -x,
- Str. 98-99. Wykresy na rysunkach 56-58 powinny na skalach pionowych mieć zaokrąglenia do jedności,

- str. 108. Wprowadzenie modyfikacji konstrukcyjno-procesowej polegającej na wymianie silników na energooszczędne, przyczyni się nie tylko do zaoszczędzenia energii, ale – co autorka miała na myśli?
- str. 116. Pozycja literatury 110 nie posiada nawiasów,
- str. 118. pozycje literatury 147-151 brakuje daty kiedy korzystano ze źródeł internetowych,
- str. 121. Rys.19. – brakuje spacji.

6. Wniosek końcowy

Usterki wymienione w powyższej recenzji nie obniżają w istotny sposób poziomu dysertacji. Rozprawa prezentuje wymaganą ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie „Inżynieria mechaniczna” oraz dowodzi umiejętności prowadzenia pracy naukowej w tej dyscyplinie. Jej pozytywne aspekty i znaczące w tym zakresie osiągnięcia Doktorantki pozwalają na stwierdzenie, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Patrycji Walichnowskiej pt. *„Wpływ cech i parametrów pakowania butelek w folię termokurczliwą na szkodliwość w systemie technicznym”* jest rozwiązaniem oryginalnym, dotyczącym procesu termicznego pakowania opakowań, wnoszącym znaczący wkład w dyscyplinę „Inżynieria mechaniczna”. Przedstawione rozwiązanie problemu naukowego oraz przesłanki do zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze komercyjnej wykazane w rozprawie przez mgr inż. Patrycję Walichnowską, spełniają wymagania formalne określone w art. 187. Ust. 1 Ustawy z dnia 20.07.2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668) przez co uzasadnione jest nadanie Kandydatce stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Wnoszę więc o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

