

Katowice, dn. 23.12.2025 r.
dr hab. inż. Bożena Szczucka-Lasota, prof. PŚ.
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
40-019 Katowice
ul. Krasińskiego 8

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Jacka Nogackiego
pt.: „Zastosowanie metod redukcji emisji środowiskowych w produkcji opakowań”
Promotor: dr hab. inż. Zuzanna Żołdek -Tryznowska, prof. PW
Promotor pomocniczy: dr inż. Krzysztof Krystosiak

1. Formalna podstawa recenzji

Podstawę formalną opracowania przedmiotowej recenzji, stanowi Uchwała Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Warszawskiej nr 265/III-IM/2025 z dn. 12.11.2025 powołująca mnie na Recenzenta, a także zawarta umowa o dzieło polegająca na sporządzeniu recenzji dotyczącej spełnienia przez rozprawę doktorską wymagań określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz.U. z 2021 r. poz.478 z późn. zm.).

2. Tytuł rozprawy doktorskiej - aktualność podjętego tematu

Rozprawa doktorska mgra Jacka Nogackiego pt. „Zastosowanie metod redukcji emisji środowiskowych w produkcji opakowań” skupia się na ocenie wpływu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym na redukcję emisji środowiskowych w ramach cyklu życia produktu (LCA) oraz ograniczenie liczby przedprodukcyjnych testów maszynowych. Przedstawione rozwiązanie stanowi

pionierską inicjatywę w branży poligraficznej na terenie Polski a przeprowadzone badania wskazują, że prezentowany system doskonale wpisuje się w najnowsze trendy rozwojowe i wymagania Dyrektyw Unijnych, związane z ograniczeniem negatywnego wpływu technologii na środowisko, w tym tzw. śladu węglowego. Przedstawione do recenzji rozwiązanie (druku na podłożu docelowym) charakteryzuje znaczny potencjał wdrożeniowy i stanowi przyjazną dla środowiska alternatywę tradycyjnego „proofingu”.

Reasumując, stwierdzam, że sformułowanie tematu rozprawy należy uznać za właściwe i odpowiadające współczesnym potrzebom zarówno nauki jak i praktyki gospodarczej w obszarze problematyki związanej z ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych i negatywnym wpływem procesów poligraficznych na środowisko. Tematyka rozprawy jest w znacznym stopniu nowatorska i mieści się w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy - ocena metodyczna (ocena układu rozprawy doktorskiej, materiału źródłowego i zastosowanego piśmiennictwa)

Praca wydana została w formie monografii opatrzonej logiem Politechniki Warszawskiej. Rozprawa doktorska liczy 223 strony (wg numeracji zastosowanej przez Autora dysertacji). Pierwsze 6 stron jest ponumerowanie domyślnie i ujmuje m.in. stronę tytułową pracy, motto jakim opatrzone pracę (Jana Pawła II i Alberta Einsteina) oraz podziękowania skierowane do rodziny, promotorów, pracownika organizacji i firmy Chespa sp. z o.o.). Recenzentka uznała, że treść właściwa przedstawiona do recenzji rozpoczyna się od strony 7 opracowania i obejmuje:

streszczenie w języku polskim (s.7-9), streszczenie w języku angielskim (s. 10-11), spis treści (s. 13-16), wykaz pojęć (s. 17- 20), wprowadzenie (s. 21-28), cel pracy (s.29) oraz treść zasadniczą podzieloną na dwie części: stan wiedzy (Rozdziały 1 ÷ 4; s.31-82) i część eksperymentalną (Rozdziały 5÷10; s.32-195) a także części pracy zatytułowane „Bibliografia”; „Spis rysunków”; „Spis tabel”.

Rozdziały są powiązane ze sobą merytorycznie, układ pracy jest logiczny, kolejność następujących po sobie rozdziałów nie budzi zastrzeżeń. Proporcje poszczególnych części pracy (np. rozdział 1 i 5) są niejednorodne objętościowo.

W pracy zastosowano powołania na materiał źródłowy w różnych formach.

4. Ocena merytoryczna (wskazanie i ocena celu pracy kandydata, zastosowanych metod badawczych oraz sposobu omówienia przez kandydata wyników badań)

W rozdziale zatytułowanym „Wprowadzenie” Doktorant zwięźle wyjaśnia czym jest proces tworzenia wydruku próbnego, uzasadnia, dlaczego poszukiwane są nowe sposoby realizacji procesu oraz przedstawia główne założenia nowoprojektowanego systemu (takie jak stabilność, certyfikowalność, powtarzalność). W rozdziale tym Doktorant wskazuje również na główne źródła emisji zanieczyszczeń podczas wydruku próbnego, możliwości reakcji organizmów żywych, w tym mutacji genowych i chorób nowotworowych na używane składniki i silnie toksyczne związki powstające w reakcjach chemicznych podczas produkcji opakowań. Doktorant nakreśla również jak firma Chespa rozpoczęła prace w zakresie rozwiązań przyjaznych dla środowiska podczas rozwoju procesu druku próbnego na podłożu docelowym a także przedstawia krótkie streszczenie poszczególnych rozdziałów dysertacji.

W rozdziale zatytułowanym „Cel pracy” Autor nakreśla cel badawczy rozprawy jako „określenie znaczenia i wpływu systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym na redukcję emisji środowiskowych w ramach cyklu życia produktu oraz ograniczenie lub eliminację przedprodukcyjnych testów maszynowych a także udział systemu w ekoprojektowaniu opakowań”. Cel został sformułowany poprawnie i wpisuje się w podjęty temat rozprawy.

W omawianym rozdziale Doktorant sformułował również 3 cele szczegółowe, zadał 4 pytania badawcze a także przedstawił hipotezę główną: „System wydruku próbnego na podłożu docelowym w znacznym stopniu przyczynia się do redukcji emisji środowiskowych a także ma znaczący wpływ na zmniejszenie ilości generowanych odpadów oraz użycia zasobów środowiskowych w procesie produkcji i ekoprojektowaniu opakowań”

W rozdziale zostały także przedstawione 3 hipotezy szczegółowe:

„H1. Zastosowanie systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym przyczynia się do redukcji emisji środowiskowych, co pozwala na uzyskanie korzyści w wymiarze środowiskowym społecznym i ekonomicznym”

H2. System wydruku próbnego na podłożu docelowym może być z powodzeniem stosowany w celu oceny wzorców grafik w procesie zmiany wzoru marki, zmiany podłoża na bardziej wyrafinowane lub mające znaczący wpływ na odbiór wizualny kolorystyki wzoru, oraz redukcji emisji środowiskowych”

H3. Proces ekoprojektowania opakowań z wykorzystaniem systemu wydruku próbnego na podłożu docelowym jako forma redukcji emisji środowiskowych oraz dążenie do ograniczenia negatywnego wpływu opakowań konsumenckich na ekosystemy i biosferę.”

W Rozdziale 1 dysertacji zatytułowanym „Emisje środowiskowe i gospodarka odpadami branży opakowaniowej” Doktorant opisał m.in. emisje naturalne, antropogeniczne z podziałem na źródła oraz gospodarkę odpadami opakowaniowymi. Przedstawił sposoby unieszkodliwiania odpadów oraz szacowane na lata 2022÷2029 poziomy recyklingu odpadów opakowaniowych w zależności od zastosowanego materiału opakowania. Doktorant w prezentowanym rozdziale 1 stosuje wyrażenia poziom recyklingu odpadów oraz kwota recyklingu.

W rozdziale drugim pt. „Rodzaje i typ współczesnych systemów wydruków próbnych” autor przedstawia charakterystykę wydruku próbnego, wyjaśnia czym jest cyfrowy wydruk próbny i jakie są przykładowe systemy wydruków próbnych dostępnych na rynku polskim, opisuje ogólnie cyfrowy wydruk próbny na podłożu docelowym opracowany w firmie Chespa w 2019 roku, a także porównuje wyniki badań wizualnych wydruku konwencjonalnego oraz wydruku na podłożu docelowym. W podrozdziale 2.5 Doktorant zwięźle przedstawia na czym polega pomiar automatyczny i manualny wydruku próbnego.

W rozdziale 3 „Ślad węglowy w ocenie cyklu życia produktu” Doktorant przedstawia gazy cieplarniane, wskazuje na skokową zmianę stężenia CO₂ w atmosferze w ostatnich latach, przedstawia kategorie (zakresy) emisji w ocenie śladu węglowego. Autor przedstawia analizę informacji w odniesieniu do każdego rodzaju organizacji, niezależnie od jej typu.

W rozdziale czwartym „Ekoprojektowanie opakowań” autor zamieścił definicję opakowania ekologicznego, przedstawił gospodarkę odpadami w obiegu zamkniętym, nakreślił podstawowe funkcje opakowań, jak również scharakteryzował kierunki działań i determinanty rozwoju ekoopakowań. Doktorant w podrozdziałach 4.4 – 4.5 odniósł się do rozporządzenia Unii Europejskiej - PPWR (Packing and Packing Waste Regulation) - rozporządzenia w zakresie opakowań i odpadów opakowaniowych z 19 grudnia 2024 roku. Zwrócił uwagę min. na możliwość recyklingu opakowań w zależności od klasy

recyklingu oraz minimalizację masy i objętości opakowań. W rozdziale 4 Doktorant opisał również swoje osiągnięcia w zakresie realizacji projektu ekoopakowań z papieru typu kraftliner dla firmy Frosta oraz z zakresu wprowadzenia do druku farb wodorozcieńczalnych w miejsce systemu farb rozpuszczalnikowych.

Analiza literatury jest prawidłowa pod względem merytorycznym, język i terminologia jakimi posługuje się Doktorant należy uznać za poprawne, myśli formułowane są w sposób przejrzysty, poszczególne rozdziały pracy są ściśle związane z tematyką dysertacji i przyjętym celem.

Największą wartość poznawczą ma część eksperymentalna dysertacji. Przed przystąpieniem do badań zasadniczych Doktorant dokonał oceny preferencji 9 klientów firmy Cheopsa, korzystających z rozwiązania wydruku próbnego na podłożu docelowym. W tym celu Autor dysertacji opracował ankietę składającą się z 19 pytań o charakterze zarówno zamkniętym jak i pytania otwartego. Wybrane wyniki badań ankietowych zostały przedstawione i zinterpretowane w rozdziale szóstym, wskazując jednoznacznie na wybór nowego rozwiązania przez klientów firmy.

Następnie Doktorant wykonał badania zasadnicze na dwóch typach podłoży powszechnie stosowanych w praktyce przemysłowej w sektorze opakowań. Wybrane podłoża różniły się właściwościami fizykochemicznymi przez co miały istotny wpływ na charakter i intensywność oddziaływania procesów drukarskich na środowisko. Wyniki badań na papierze typu kraftliner Doktorant zaprezentował w rozdziale 7 dysertacji, a wyniki próbek na podłożu PE (polietylenu) omówił w rozdziale 8. Prowadzone badania miały charakter interdyscyplinarny, obejmowały w głównej mierze zagadnienia z inżynierii mechanicznej w zakresie dyscypliny poligraficznej jak i nauk środowiskowych oraz toksykologii w zakresie oceny wpływu procesu drukowania na środowisko. Celem podjętych badań było określenie wielkości emisji gazów cieplarnianych emisji związków toksycznych oraz odpadów wytworzonych w procesie (od chwili jego rozpoczęcia - ustawiania barwy w drukarni do wydruku próbnego, aż do chwili zatwierdzenia wyniku) dla wydruku konwencjonalnego i wydruku na podłożu docelowym. W ramach badania bilansowania środowiskowego Autor dysertacji zastosował metodę oceny cyklu życia produktu LCA (narzędzie umożliwiające kompleksową ocenę wpływu środowiskowego analizowanych technologii). W kalkulacjach przyjął zasadę, iż dane pochodzą ze źródeł pierwotnych. Podstawą obliczeń bilansowania środowiskowego stanowiły międzynarodowe normy oceny cyklu życia: ISO 14040: 2021 i EN ISO 14 044: 2021 oraz EN ISO 14067:2019 i PEF (ślad środowiskowy produktu). Kalkulacja wykonana została w systemie Climate 3. Znajomość narzędzi i metod badawczych jest zadawalająca a ich wybór właściwy.

Wyniki badań testów przedprodukcyjnych zostały zaprezentowane w formie opisowej, stabelaryzowanej a także w postaci dokumentacji fotograficznej wydruków próbnych i wykresów (słupkowych, kołowych). Dogłębna analiza uzyskanych wyników pozwoliła Doktorantowi na porównanie wpływu obu rodzajów wydruków na środowisko, w tym:

- ocenę egzotoksyczności na środowisko lądowe, morskie oraz wody słodkie
- porównanie emisji klimatycznych oraz kredytów z recyklingu odpadów
- ocenę zużycia ilości wody i papieru w kg

Doktorant podsumowuje rozdziały przedstawiając wnioski o charakterze szczegółowym, wynikające z przeprowadzonych badań i wnikliwych analiz, popartych stosownymi odniesieniami do informacji naukowych. Doktorant wykazał się umiejętnością właściwego formułowania poglądów. Cel rozprawy należy uznać za zrealizowany.

Reasumując stwierdzam, że Doktorant posiada niezbędne kompetencje do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Praca jest merytorycznie poprawna, zarówno koncepcję, przyjęty cel oraz zakres badań jak i metodykę oceniam pozytywnie.

5. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Lektura rozprawy doktorskiej dowodzi, że w przypadku standardowego procesu produkcji konieczne jest przeanalizowanie wszystkich niezbędnych procesów związanych z drukowaniem komercyjnym. Natomiast w przypadku zastosowania nowo opracowanej technologii próbkowania na podłożu docelowym powyższe czynności można ograniczyć do prawidłowego przygotowania próbek wydruku w warunkach laboratoryjnych. Ponadto przedstawione w dysertacji wyniki potwierdziły, że innowacyjny proces drukowania na docelowych podłożach, opracowany w Chespa pod nadzorem autora dysertacji, ma mniejszy wpływ na środowisko niż standardowy proces drukowania próbek. Badania wykazały w nowo zaprojektowanym procesie, w porównaniu do systemu konwencjonalnego:

- a) niższe zużycie surowców,

- b) niższą emisję klimatyczną CO₂ (wynikającą z zastosowania odpowiednio mniejszej ilości PE w procesie),
- c) niższe zapotrzebowaniem na wodę i energią elektryczną (400 kg/FU).

Zważywszy na konieczność raportowania środowiskowego przez organizacje i dążenie do ograniczenia przez firmy łącznej emisji gazów cieplarnianych, w tym ograniczenie tzw. „śladu węglowego” nowo opracowany proces drukowania na podłożu docelowym charakteryzuje wysoki potencjał wdrożeniowy. Dodatkowo jakość wydruku próbnego jest wysoce zgodna z oryginałem, co w firmach poligraficznych stanowi istotny element współpracy z klientem na etapie projektowania opakowania i jego zatwierdzania do produkcji.

W toku badań Doktorant udowodnił, że LCA może być skutecznie stosowana i wykorzystywana jako narzędzie oceny procesu druku próbnego i określenia jego wpływu na klimat.

Aspekt, jakim jest opracowanie oryginalnego rozwiązania problemu naukowego, oryginalnego rozwiązania w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej został spełniony.

6. Uwagi krytyczne

Chciałabym przedstawić kilka uwag o charakterze polemicznym w formie pytań do treści recenzowanej dysertacji:

1. Doktorant w prezentowanym rozdziale 1 stosuje wyrażenia poziom recyklingu odpadów oraz kwota recyklingu, a wyniki podaje w procentach:
 - a) Jak należy rozumieć powyższe sformułowania, czy mogą być stosowane zamiennie
 - b) czego dotyczą podane wartości, np. czy jest to procent wyliczony ze wszystkich odpadów podlegających recyklingowi, czy procent z liczby opakowań wyprodukowanych z danego materiału? Uprzejmie proszę o doprecyzowanie informacji.
2. W przeprowadzonych analizach (rozdział 7) porównał Pan zużycie papieru w obu badanych procesach wydruku próbnego. Proces wydruku konwencjonalnego odbywał się na białym papierze

- a druku na podłożu docelowym odbywał się m.in. na jednowarstwowej powłoce folii białego polietylenu (PE). Dlaczego zatem porównano tylko zużycie papieru w procesie, a nie np. polietylenu. Czy jest to związane poziomem recyklingu PE, o którym wspomina Pan w rozdziale 8.5?
3. W rozdziale 9.1.1. wskazuje Pan na przewagę opakowań z niepowleczonego bielonego papieru nad opakowaniami polimerowymi (rys.9.4). Jakie znaczenie, Pana zdaniem, będzie miała zaproponowana przez Pana technologia wydruku próbnego na podłożu docelowym w porównaniu do wydruku konwencjonalnego (lub proponowanej przez Pana tzw. technologii fleksografii) przy produkcji ekologicznych opakowań z papieru?
 4. Na rys. 9.9 przedstawiono wyniki badań własnych – mikroskopowych. Proszę podać rodzaj mikroskopu i powiększenie lub rozdzielczość z jaką wykonano zdjęcia.
 5. W pracy bada Pan wpływ systemu wydruku próbnego na środowisko. Jak wynika z treści dysertacji system został wdrożony i funkcjonuje przez parę lat w firmie Chespa. Początkowo były trudności związane z opracowaniem systemu przez firmę. W podsumowaniu zawarł Pan informację, że system został stworzony przez Autora pracy. Uprzejmie proszę o doprecyzowanie własnego udziału w opracowaniu systemu (jakie zadania Pan wykonywał jako lider projektu) oraz przedstawienie głównych problemów jakie należało pokonać, aby system mógł poprawnie funkcjonować.

Praca jest wykonana bardzo starannie, przy tak wyczerpującym naukowym opracowaniu nie sposób było uniknąć drobnych uwag edycyjnych (drobne literówki, np. s. 108 rys.7.4 – słowo klienta zamieniono na „klinta” czy niefortunny sposób cytowania literatury). Przedstawione uwagi należy potraktować jedynie jako wskazówkę do doskonalenia kolejnych opracowań publikacyjnych Doktoranta.

7. Wnioski końcowe

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Jacka Nogackiego pt.: „Zastosowanie metod redukcji emisji środowiskowych w produkcji opakowań” prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną, jaką powinna posiadać osoba ubiegająca się o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Doktorant

w toku realizacji dysertacji wykazał się umiejętnością samodzielnego zaplanowania i rzetelnego wykonania badań. Wyniki zostały zinterpretowane właściwie, a formułowane wnioski o charakterze ogólnym i szczegółowym wynikają z przeprowadzonych szczegółowych analiz uzyskanych wyników. Potwierdzam, że Pan mgr Jacek Nogacki posiada niezbędne kompetencje do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Prezentowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Wyniki pracy naukowo-badawczej Doktoranta charakteryzuje znaczny potencjał aplikacyjny. Wymienione w recenzji p. 5 osiągnięcia autora mają charakter użyteczny, ze szczególnym znaczeniem dla przemysłu poligraficznego. Obecnie rozwiązanie jest z powodzeniem wykorzystane w firmie poligraficznej Chespa podczas procesów projektowania wzoru, druku próbnego i akceptacji właściciela marki.

Przedstawione uwagi krytyczne do rozprawy nie umniejszają pozytywnej ocenie jej wysokiego poziomu merytorycznego.

Rozprawa doktorska Pana mgra Jacka Nogackiego pt.: „Zastosowanie metod redukcji emisji środowiskowych w produkcji opakowań” spełnia wszystkie wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.) oraz mieści się w obszarze badań właściwym dla dyscypliny inżynieria mechaniczna. Wnoszę zatem o przyjęcie rozprawy doktorskiej na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Mając na uwadze wysoki poziom recenzowanej rozprawy oraz osiągnięcia naukowe, przedstawione w p.5 recenzji, w przypadku pozytywnego przebiegu obrony rozprawy doktorskiej i przy spełnieniu przez Kandydata pozostałych wymagań (w tym publikacyjnych), pozwalam sobie zaproponować wyróżnienie.

Uprzejmie proszę Komisję Doktorską Politechniki Warszawskiej o rozważenie możliwości pozytywnego ustosunkowania się do mojej sugestii.

Bożena Szczucka-Lasota