

Prof. dr hab. inż. Józef Kuczmaszewski
emerytowany profesor
Politechniki Lubelskiej

Lublin, 2026 – 04 - 07



**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Sławomira Andrzeja Nadolnego
„Optymalizacja parametrów procesu technologicznego chłodnicy powietrza w celu
minimalizacji pozostałości topnika po procesie lutowania w kontrolowanej atmosferze”**

Promotor: prof. dr hab. inż. Adam Hamrol

Promotor pomocniczy: dr inż. Michał Rogalewicz

1. Podstawy formalne do opracowania recenzji

Recenzję wykonano na zlecenie Politechniki Poznańskiej, wyrażone w piśmie DIM.075.40.2026 oraz w umowie o dzieło 0600/2026/36, które podpisał Dziekan Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Bartosz Gapiński, prof. Politechniki Poznańskiej.

2. Informacja o ocenianej rozprawie doktorskiej

2.1. Tytuł rozprawy, ocena układu treści, zakresu i struktury rozprawy

Analizowana rozprawa doktorska mgr inż. Sławomira Andrzeja Nadolnego, wykonana w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”, pod tytułem „**Optymalizacja parametrów procesu technologicznego chłodnicy powietrza w celu minimalizacji pozostałości topnika po procesie lutowania w kontrolowanej atmosferze**”, została napisana na 104 stronach maszynopisu i zawiera:

- Spis treści
- Nomenklaturę
- Streszczenie w językach polskim i angielskim
- Wprowadzenie
- 1. Wymienniki ciepła
- 2. Proces technologiczny aluminiowej chłodnicy powietrza
- 3. Pozostałość topnika w chłodnicy powietrza
- 4. Cel, zadania i metody pomiarowe
- 5. Opracowanie metody pomiaru ilości pozostałości topnika
- 6. Optymalizacja procesu technologicznego

7. Zastosowanie zaleceń w praktyce przemysłowej
 8. Podsumowanie i wnioski
- Podziękowanie
 - Literatura
 - Spis rysunków
 - Spis tabel.

Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Adam Hamrol, promotorem pomocniczym dr inż. Michał Rogalewicz.

Struktura rozprawy jest typowa dla rozpraw doktorskich, w tym przypadku, ze względu na to, że rozprawa jest wykonywana w ramach projektu „doktorat wdrożeniowy”, posiada także ważne aspekty praktyczne. Po elementach formalnych lub związanych z wymaganiami definiowanymi przepisami prawa, takich jak spis treści, nomenklatura i streszczenie w językach polskim i angielskim, autor zamieszcza krótkie wprowadzenie w którym syntetycznie uzasadnia celowość podjęcia badań oraz informuje o zawartości 8 rozdziałów swojej rozprawy.

W rozdziale pierwszym doktorant krótko opisuje rodzaje i zastosowanie wymienników ciepła, koncentrując się zwłaszcza na budowie chłodziw dla przemysłu motoryzacyjnego.

Rozdział drugi przedstawia proces technologiczny wykonanej ze stopu aluminium chłodziw powietrza. W opisie przedstawiono takie elementy procesu jak opis materiałów wejściowych, proces formowania blach, proces pakietowania, proces nanoszenia topnika, proces montażu, proces lutowania i proces kontroli. Jest to podstawowa część dotycząca analizy bibliografii, na około 20 stronach zawarto schematy, liczne rysunki związane z procesem lutowania, także przedstawiono najważniejsze problemy dotyczące tej technologii.

Rozdział trzeci koncentruje uwagę doktoranta na pozostałości topnika w chłodziw po procesie lutowania, jest to główny problem analizowany i badany w rozprawie. Rozdział napisany na 7 stronach rozprawy, podejmuje zwłaszcza przegląd literatury dotyczący tego problemu oraz szczegółowo analizuje przyczyny i skutki wpływu zdefiniowanych czynników procesowych na pozostałość topnika. Do tej analizy wykorzystuje diagram Ishikawy oraz FMEA-P, na podstawie którego wyznaczono priorytety po analizie istotności skutku, prawdopodobieństwa wystąpienia oraz wykrywalności, czyli oceny możliwości wykrycia danej wady. Na tej podstawie wybrano czynniki procesu które będą podlegały badaniom w ramach rozprawy doktorskiej.

Rozdział czwarty zawiera cel badań, zdefiniowane zadania oraz opis stosowanych metod badań. Doktorant sformułował cel użyteczny realizowanej pracy i w jego następstwie zakres analiz i eksperymentów. Analiza i interpretacja tych eksperymentów stanowi warstwę naukową rozprawy, której naukowym etapem jest weryfikacja hipotezy badawczej. Rozdział ten stanowi logicznie uporządkowany opis postępowania doktoranta podczas realizacji rozprawy.

W rozdziale piątym autor analizuje wady i zalety pomiarów ilości pozostałości topnika. Przedstawiając wady dotychczas stosowanych w przedsiębiorstwie MAHLE Behr Ostrów Wielkopolski sposobów i metod pomiaru ilości pozostałości topnika, proponuje do pomiaru wykorzystać spektrofotometrię, skaningową mikroskopię elektronową oraz mikroskopię światła odbitego. W rozdziale tym dokonuje weryfikacji przydatności tych sposobów pomiarów i w konsekwencji rekomenduje do wykorzystania mikroskopię światła odbitego z kontrastem różnicowo-interferencyjnym (RLM-DIC).

W rozdziale szóstym doktorant analizuje możliwości optymalizacji procesu. Jako kryterium optymalizacji przyjęto możliwość uzyskania jak najlepszego stopnia zlutowania przy minimalnej pozostałości topnika. W tym celu analizowano wpływ gramatury topnika, temperatury lutowania, sposobu ułożenia (konfiguracji) chłodnic w piecu tunelowym, charakterystykę docisku ramki lutowniczej.

W rozdziale siódmym przedstawiono niezbędne prace i zalecenia, jakie należy wykonać i spełnić, aby wdrożyć uzyskane efekty do praktyki produkcyjnej. W ramach prac wdrożeniowych wykonano nową maszynę do nanoszenia topnika, wykonano symulację numeryczną w oparciu o opracowaną, uproszczoną wersję bliźniaka cyfrowego a następnie wykonano próby technologiczne.

Rozdział ósmy zawiera podsumowanie i wnioski wynikające z realizacji rozprawy. Podzielono je na trzy grupy: wnioski poznawcze, wnioski praktyczne i wdrożeniowe oraz wnioski będące w istocie planowanymi pracami badawczymi na najbliższą przyszłość.

W rozprawie zamieszczono również podziękowanie dla MNiE za finansowanie prac badawczych w ramach programu doktorat wdrożeniowy, wykaz analizowanej bibliografii, streszczenie w językach polskim i angielskim, spis tabel i rysunków. Układ rozprawy jest logiczny, uporządkowany, kolejne etapy prac są naturalnym następstwem uzyskanych wyników badań. Z formalnego punktu widzenia rozprawa spełnia przewidziane kryteria prawne.

2.2. Ocena przyjętego celu rozprawy, hipotezy (tezy) badawczej oraz poprawności prowadzonych badań

Cel rozprawy jest przedstawiony w sposób konkretny i nie budzi wątpliwości. Autor zamierza udoskonalić produkcję chłodnicy powietrza z zastosowaniem zmodyfikowanych parametrów procesu jako efektu badań optymalizacyjnych. Rozprawa ma charakter wdrożeniowy, ale także naukowo-eksperymentalny, stosowano typowe dla prac naukowych procedury postępowania, wykorzystano zaawansowaną aparaturę do badań, uzyskane wyniki prezentowano w poprawny naukowo sposób, przy wykorzystaniu naukowych podstaw teorii wnioskowania. Tezę badawczą Doktorant przedstawił na str. 43 rozprawy i brzmi ona następująco: *„Redukcję ilości pozostałości topnika można uzyskać kontrolując i odpowiednio dobierając czynniki procesowe wskazane w rozdziale 3 tj. gramaturę warstwy topnika, siłę kompresji ramek lutowniczych oraz kontrolę profilu lutowania”*. Teza jest poprawna, choć zdaniem oceniającego bardziej właściwe jest określenie „hipoteza”, tezę się udowadnia, będąc przekonany o jej słuszności, hipoteza jest przypuszczeniem, które podlega weryfikacji w trakcie badań, w rozprawie mamy do czynienia raczej z tym drugim przypadkiem. Nie mam uwag do zastosowanych metod pracy badawczej, podkreślam istotność aplikacyjną rozwiązywanego problemu oraz sukces wdrożeniowy (choć w rozprawie brak załącznika będącego formalnym potwierdzeniem wdrożenia).

Wysoko oceniam wiedzę i doświadczenie zawodowe doktoranta w obszarze technologii lutowania, jest to proces złożony, jego skuteczna aplikacja wymaga zaawansowanej wiedzy z zakresie inżynierii materiałowej, inżynierii powierzchni oraz technologii montażu. Doktorant wykazuje dobrą intuicję badawczą, syntetycznie, ale profesjonalnie interpretuje uzyskane

wyniki. Należy zauważyć, że doktorant planuje kolejność procesu badawczego z właściwym i logicznym następstwem, będącym efektem wcześniejszych badań i analiz.

2.3. Ocena wykorzystanego piśmiennictwa oraz opisu stanu wiedzy

Analizowana literatura obejmuje 167 pozycji, jest to literatura anglojęzyczna (z wyjątkiem 4 podręczników w języku polskim i 3 polskojęzycznych artykułów oraz 4 polskich norm. W bibliografii znajduje się odwołanie do kilkunastu stron internetowych. Analizowana literatura w zdecydowanej większości pochodzi z ostatnich 10 lat, jest aktualna i dobrze skorelowana z tematyką rozprawy. Doktorant kompetentnie przywołuje interesujące elementy wiedzy, sposób omawiania tej wiedzy świadczy o tym, że doktorant zapoznał się z treściami tam zawartymi. Niektóre elementy tworzonej przez doktoranta wiedzy zostały opublikowane, poddane także dyskusji na konferencji naukowej, co oceniam pozytywnie. Doktorant odnosi się także, w charakterze własnej oceny, do niektórych treści analizowanej literatury, dokonuje też syntetycznej oceny całości bibliografii. Takie syntetyczne podsumowanie w kontekście problematyki rozprawy uważam za ważne, ułatwia to formułowanie hipotez badawczych, jest też ważnym elementem w ocenie doktoranta jako kandydata do uzyskania samodzielności badawczej.

3. Ocena uzyskanych wyników badań oraz poziomu ich naukowej dyskusji

Zaplanowanie i przeprowadzenie obszernego programu prac analitycznych, badawczych oraz walidacji wyników w warunkach przemysłowych pozwoliło doktorantowi na realizację zakładanych celów oraz potwierdzenie możliwości wdrożenia do praktyki przemysłowej zmodyfikowanego procesu produkcyjnego chłodnicy powietrza w przedsiębiorstwie MAHLE Behr Ostrów Wielkopolski. Ważniejsze efekty uzyskane przez doktoranta są następujące:

- A. Doktorant pozytywnie zweryfikował hipotezę (tezę) badawczą. Uzyskane wyniki potwierdzają, że można zredukować masę topnika, zredukować pozostałość topnika po lutowaniu oraz otrzymać akceptowalny stopień zlutowania poprzez modyfikację sposobu nakładania topnika, redukcję jego gramatury w stosunku do istniejącej w firmie technologii, oraz poprzez zmianę sposobu ułożenia chłodnic w piecu tunelowym.
- B. Doktorant potwierdził możliwość uproszczenia sposobu określania pozostałości topnika oraz stopnia zlutowania chłodnicy poprzez zastosowanie analizy światła odbitego, nie wymaga to skomplikowanej aparatury i istotnie obniża koszty analizy jakości. To osiągnięcie jest szczególnie ważne, segmentacja konturów w analizie kolorów jest często źródłem błędów w takich analizach, zaproponowana przez doktoranta metoda postępowania w tym przypadku, poprzez wyznaczanie kąta jasności histogramów, jest interesującym osiągnięciem.
- C. Doktorant wykazał umiejętność analizy procesu technologicznego z zastosowaniem odpowiednich narzędzi zarządzania jakością, umiejętność optymalizowania parametrów procesu technologicznego oraz umiejętność weryfikacji uzyskanych wyników w warunkach produkcyjnych.

- D. Doktorant dokonał skróconej, ale kompetentnej syntezy wiedzy o wymiennikach ciepła, zwłaszcza w pojazdach samochodowych, opracowanie może służyć firmie także do celów szkoleniowych.
- E. Należy podkreślić, że w każdym obszarze prac niezbędnych do uzyskania efektów przedstawionych w pkt A-D, doktorant wykazał się kompetencjami, a dyskusja wyników jest na dobrym poziomie. Zastosowane zmiany w postaci nowego sposobu nakładania warstwy topnika, uzyskanie zmodyfikowanego profilu cieplnego procesu poprzez odpowiednie ułożenie partii produkcyjnej w piecu tunelowym oraz określenie wartości szczeliny technologicznej uwzględniającej rozszerzalność cieplną zestawu chłodniczego, są istotnym osiągnięciem naukowym doktoranta.

4. Ocena wartości praktycznej uzyskanych wyników

Efektem realizacji rozprawy doktorskiej są także uzyskane efekty praktyczne. Szkoda, że doktorant nie dołączył żadnych dokumentów potwierdzających uzyskane efekty ze strony firmy MAHLE Behr Ostrów Wielkopolski.

Uzyskane efekty praktyczne oceniam wysoko, spełniają one oczekiwania definiowane dla doktoratu wdrożeniowego. Nie ulega wątpliwości, że w wyniku przeprowadzonej wieloetapowej analizy procesu technologicznego, przeprowadzonych analiz i badań doktorant uzyskał zakładane efekty wdrożeniowe. Mają one niekwestionowaną wartość praktyczną, przyczyniają się do poprawy jakości, nie wymagają przy tym kosztownych zmian pieca tunelowego dla uzyskania proponowanego profilu cieplnego procesu lutowania. Doktorant w wyniku realizacji rozprawy udowodnił, że uzyskał kompetencje do samodzielnego prowadzenia badań.

5. Uwagi do ocenianej rozprawy

5.1. Uwagi i sugestie dotyczące otrzymanych rezultatów

Pewne elementy dotyczące interpretacji otrzymanych wyników, dla pogłębienia naukowych efektów rozprawy oraz ze względu na znaczenie faktu wdrożenia technologii do produkcji seryjnej, wymagają dodatkowych wyjaśnień doktoranta:

- A. Istotą naukowych eksperymentów jest przedstawianie wszystkich cech i parametrów procesu badawczego umożliwiających powtórzenie i weryfikację uzyskanych wyników. Doktorant zbyt lakonicznie informuje o zastosowanych materiałach, np. topnik (producent, postać handlowa, sposób przygotowania zawiesiny do natrysku).
- B. Doktorant powinien podać przynajmniej niektóre cechy geometryczne elementów analizowanej chłodnicy, takich jak wymiary pokryw, rurek, zaburzaczy czy płyty sitowej, a także przynajmniej wymiary gabarytowe stosowanych ramek oraz charakterystyki sprężyn dociskowych.
- C. Wydaje się, że Doktorant powinien, przynajmniej pobieżnie, zwrócić uwagę, także w analizie literatury, na procesy powstawania hydratów i warunki skutecznej dehydratyzacji tlenków aluminium w procesie lutowania. Dotyczy to zwłaszcza historii technologicznej produkcji blachy z warstwą lutu oraz wpływu Si i Mg na możliwość powstawania hydratów w procesie lutowania. Hydraty pogarszają zwilżalność i przy

rozkładzie termicznym wydzielają parę wodną, co w konsekwencji powoduje tworzenie się pęcherzy gazowych, które tworzą nieciągłości i pogarszają jakość spoiwy.

- D. Jak wiadomo, o skutecznym zwilżaniu powierzchni ciała stałego, obok szeroko rozumianych cech fizycznych i chemicznych ciekłego metalu lub innych cieczy, istotną rolę odgrywają także właściwości „adhezyjne” ciała stałego, w tym struktura stereometryczna powierzchni. Doktorant ten problem traktuje tylko jednym zdaniem, że spoiwo jest platerowane na podłożu stopu aluminium. Jakie są cechy warstwy wierzchniej podłoża pod warstwą plateru, w tym chropowatość powierzchni? Jak zmienia się chropowatość powierzchni w procesie platerowania?
- E. Na str. 82 doktorant podaje optymalną gramaturę topnika na poziomie 3 [g/m²], a w zaleceniach wdrożeniowych podaje 3⁺. 0,8 [g/m²], jak doktorant tłumaczy zasadność przyjętej dolnej granicy tolerancji gramatury?
- F. W symulacji natrysku topnika przyjęto szerokość strugi na pokrywie równą średnicy dyszy. Co doktorant sądzi o zjawisku rozszerzenia strugi, co pewnie występuje, a w konsekwencji prowadzi do poszerzenia śladu pokrycia i jak to zależy od odległości dyszy od natryskiwanej powierzchni oraz przyjętego ciśnienia, czy występuje zjawisko odbijania się cieczy od natryskiwanej powierzchni i dlaczego nie uwzględniono tego w prowadzonym eksperymencie lub przynajmniej nie odniesiono się do tego problemu?

Uwagi te nie zmieniają mojej pozytywnej opinii o ocenianej rozprawie, formułuję je przede wszystkim dla wskazania doktorantowi konieczności dbania o wysokiej jakości standardy w dalszych pracach doktoranta, zwłaszcza w publikacjach naukowych, które zapewne mgr inż. Sławomir Andrzej Nadolny będzie chciał przygotować.

G. Uwagi redakcyjne

Rozprawa, w ocenie ogólnej napisana jest poprawnie i starannie, stosowano właściwą terminologię, zdania są zrozumiałe i pisane odpowiednim językiem. Pojawiają się jednak usterki, które w rozprawie naukowej nie powinny się pojawiać, niektóre z nich przedstawiam poniżej:

- str. 2. Jest „wagi”, powinno być „masy”,
- str. 2. Jest „z aluminium”, powinno być „ze stopów aluminium”,
- str. 3 i inne, jednostkę ciśnienia podano w [bar], powinno być [MPa],
- str. 13 jest „siły elastyczności”, powinno być „siły sprężystości”,
- str. 19 jest „siła kompresji”, powinno być „siła docisku”,
- str. 33 jest „Jej znaczenie rośnie na znaczeniu”, powinno być „Jej znaczenie rośnie.....”
- str. 58 jest „za pomocą metody tej metody”, potrzebna zmiana redakcji zdania,
- str. 60, na rys. 5.13 należało opisać poprzez „a” i „b” przedstawione histogramy,
- str. 71, w tab. 6.1 podano gęstość stali nierdzewnej 316L równą 800 kg/m³, nie można potraktować jako pomyłkę (pominięto jedno zero) gdyż Doktorant pod tab. 6.1 napisał: „Stal nierdzewna 316L w porównaniu do aluminium AW3003 charakteryzuje się znacznie niższą gęstością (o 70%)”, wywołuje to moje zdziwienie,
- str. 76, rys. 6.12 jest niepotrzebnym powtórzeniem rys. 6.6, 6.7, 6.8.

Podkreślam, że zauważonych usterek nie jest dużo, w ogólnej ocenie redakcję rozprawy oceniam dobrze.

6. Ocena osiągnięć Doktoranta w aspekcie wymagań prawnych

Biorąc pod uwagę ocenę rozprawy w kontekście spełniania wymagań w rozumieniu Art. 186 pkt 1-5 oraz 187 pkt 1- 4 Ustawy o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia z dnia 20 lipca 2018 roku, Dziennik Ustaw RP z dnia 30 sierpnia 2018 roku, poz. 1668, jak też standardy zawarte w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku, Dziennik Ustaw RP z 30 stycznia 2018 roku, poz, 261, w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora, należy stwierdzić, że Doktorant spełnił te wymagania poprzez:

1. Skuteczne i na dobrym poziomie, w aspekcie wymagań prawnych, rozwiązanie problemu naukowo-technicznego, o charakterze analityczno-eksperymentalnym, poprzez autorskie opracowanie i jak sądzę także wdrożenie do produkcji (formalnego potwierdzenia z firmy brak) zmodyfikowanego procesu produkcyjnego chłodnicy powietrza, uzyskując w efekcie poprawę jakości uzyskanych połączeń lutowanych.
2. Doktorant wykazał się adekwatną do standardów przewodu doktorskiego wiedzą ogólną i szczegółową, odpowiadającą specyfice dyscypliny w której ubiega się o stopień naukowy doktora. Wiedza ta zawarta jest w analizie piśmiennictwa, realizowanym procesie badawczym, kompetentnie zaplanowanym i zrealizowanym eksperymencie oraz dyskusji otrzymanych wyników.
3. Doktorant wykazał, że potrafi samodzielnie formułować problemy naukowe oraz zadania badawcze, logicznie zaplanować konieczne prace, przeprowadzić serię eksperymentów oraz wykonać walidację wyników w skali przemysłowej. Rozprawę od strony planowania i prowadzenia eksperymentów, w tym logicznego następstwa kolejnych etapów, należy uznać za bardzo dobrą.
4. Doktorant potwierdził, że uzyskane efekty badawcze mogą być wdrożone do praktyki przemysłowej, spełnił więc kluczowy warunek przyjęty dla „doktoratu wdrożeniowego”.

Analizując wiedzę zawartą w rozprawie doktorskiej oraz cytowanym piśmiennictwie nie ulega wątpliwości, że jest ona dobrze skorelowana z istotą dyscypliny inżynieria mechaniczna. W efekcie całościowego spojrzenia na ocenianą rozprawę doktorską uważam, że stanowi ona wartościowe opracowanie o charakterze naukowym i aplikacyjnym, wzbogaca wiedzę doktoranta w ważnym obszarze inżynierii mechanicznej, jest też dowodem na wartościowe kompetencje autora w obszarze nowoczesnego wytwarzania. Podkreślić należy interdyscyplinarność analizowanej problematyki naukowo-badawczej.

7. Wniosek końcowy

Przeprowadzone prace studialne, analiza teoretyczna, i przeprowadzone, według własnych i merytorycznie zaawansowanych koncepcji, prace analityczne, badawcze, także weryfikacja wyników w warunkach przemysłowych, w odczuciu opiniującego stanowią część ważnej

problematyki w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, zwłaszcza w obszarze inżynieria produkcji. Uważam, że wykonanie tej pracy istotnie wzbogaciło kapitał kompetencji doktoranta w obszarze technologii montażu, a zwłaszcza w technologii lutowania. Wykonana rozprawa jest ważna w aspekcie aplikacyjnym, wnosi istotne elementy poznawcze i praktyczne do technologii montażu chłodziw powietrza dla przemysłu motoryzacyjnego.

Analizowana rozprawa doktorska, w przekonaniu opiniującego, w dobrym stopniu spełnia wymagania w rozumieniu przepisów prawa przedstawionego w pkt. 6 recenzji i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Sławomira Andrzeja Nadolnego do jej publicznej obrony w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'S. Nadolny', written in a cursive style.