

Recenzje spełnile wymagania formalne

Częstochowa, dn. 23.06.2025

dr hab. inż. Anna Derlatka, prof. PCz

Wydział Budownictwa

Politechnika Częstochowska

anna.derlatka@pcz.pl

Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport
Politechniki Śląskiej

prof. dr hab. inż. Piotr Folęga

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr Adama Döringa

na temat

„Własności użytkowe wieloskładnikowych złączy lutowanych
do zastosowania w regeneracji alternatorów samochodowych”

1. Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Podstawę formalną do opracowania niniejszej recenzji stanowią:

- Pismo przewodnie RDIGT.512.34.2025 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport prof. dr hab. inż. Piotra Folęgi,
- Uchwała nr 115/2025 Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport z dnia 29 maja 2025 r. w sprawie powołania Recenzentów rozprawy doktorskiej w postępowaniu mgr Adama Döringa,
- ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz.U. z 2024 poz. 1571 z późn. zm. z późn. zm.).

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pod tytułem „Własności użytkowe wieloskładnikowych złączy lutowanych do zastosowania w regeneracji alternatorów samochodowych” autorstwa mgr Adama Döringa zrealizowana w ramach dyscypliny naukowej Inżynieria lądowa, geodezja i transport.

2. Ocena ogólna rozprawy doktorskiej

Pan mgr Adam Döring w ramach swojej rozprawy doktorskiej opracował autorski lut służący do regeneracji alternatorów samochodowych. Uważam, że tematyka podjętej pracy wpisuje się w dyscyplinę naukową Inżynieria lądowa, geodezja i transport, w ramach której toczy się postępowanie w sprawie nadania stopnia doktora nauk technicznych.

Układ rozprawy doktorskiej oceniam jako prawidłowy. Rozprawa podzielona jest na 8 rozdziałów, całość liczy 168 stron. Spis bibliografii obejmuje 131 pozycji. Cytowane pozycje literaturowe są aktualne. Większość pozycji literaturowych stanowią najnowsze publikacje

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny
Inżynieria Lądowa i Transport

wpłynęło dnia 26 VI 2025
nr 51/2025 zał.

międzynarodowe, w tym dwie publikacje Autora dysertacji. Do pracy załączono spis rysunków i tabel oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

Przegląd piśmiennictwa jest wykonany bardzo starannie. Dokładnie opisano materiały stosowane w budowie alternatorów oraz proces lutowania uwzględniając parametry lutowania, zjawiska zachodzące na styku, budowie i właściwości lutowanego złącza oraz charakterystykę najważniejszych pierwiastków stopowych w lutach cynowych.

Część badawczą podzielono na badania rozpoznawcze i zasadnicze. Na podstawie wniosków z badań rozpoznawczych jednoznacznie przedstawiono problem badawczy, tezę i założenia do pracy. W ostatnim rozdziale podsumowano całą pracę i sformułowano wnioski.

Należy podkreślić, że do pracy załączono zaświadczenie wydane przez TÜV SÜD Polska potwierdzające, że opracowana praca doktorska wpasuje się w działania na rzecz ochrony środowiska, przyczyniając się do zrównoważonego rozwoju w przemyśle w myśl dyrektywy CSRD, jak również zaświadczenie wydane przez zakład produkcyjny AS-PL Sp. z o.o. o wdrożeniu autorskich rozwiązań Doktoranta do procesu regeneracji alternatorów samochodowych.

Praca jest napisana bardzo przejrzysto. Doktorant wykazał bardzo wysoki poziom wiedzy teoretycznej oraz bardzo dobrą umiejętność opracowywania i przedstawiania osiągnięć naukowych. W rozprawie można zauważyć racjonalne zaplanowanie eksperymentu i prawidłowy dobór metod badawczych. Praca posiada bardzo dobry styl wypowiedzi i zrozumiałości. Doceniono staranne i dokładne opracowanie uzyskanych wyników badań w warunkach laboratoryjnych i na obiekcie rzeczywistym. Umiejętność interpretacji wyników oraz formowania wniosków ocenia się bardzo dobrze.

3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Alternator jest jednym z najważniejszych podzespołów każdego pojazdu. Jego rolą jest dostarczanie energii elektrycznej do akumulatora i zasilanie różnych systemów podczas jazdy. Alternatory często ulegają awariom elektrycznym i mechanicznym. Uszkodzenia alternatora mogą wystąpić z różnych przyczyn. Do najczęstszych powodów awarii alternatora zalicza się przeciążenie alternatora oraz zużycie eksploatacyjne. Do najczęściej spotykanych uszkodzeń alternatora można zaliczyć uszkodzone łożyska, uszkodzenie koła pasowego sprzęgłowego, uszkodzenie obudowy, uszkodzone diody, uszkodzenie regulatora, uszkodzenie wirnika lub stojanu.

Wymiana alternatora na nowy to proste i szybkie rozwiązanie, które zazwyczaj gwarantuje dużą niezawodność i długi okres bezawaryjnej eksploatacji. Niemniej uszkodzone alternatory poddaje się również regeneracji. Jest to rozwiązanie korzystniejsze dla użytkownika pod względem ekonomicznym w porównaniu do zakup nowego oryginalnego

alternatora. Dodatkowo dzięki regeneracji można znacząco zmniejszyć ilość odpadów elektronicznych i metalowych, co przyczynia się do ochrony środowiska.

Regeneracja alternatora samochodowego metodami lutowniczymi to skuteczny sposób na przywrócenie jego sprawności poprzez naprawę uszkodzonych elementów elektrycznych i elektronicznych. Lutowanie jest wykorzystywane głównie do połączeń wymienionych lub naprawionych podzespołów elektrycznych alternatora. Standardowe luty dostępne na rynku nie zapewniają odpowiedniej jakości połączeń, co przekłada się na znaczny wskaźnik reklamacji alternatorów zregenerowanych z wykorzystaniem tradycyjnych stopów lutowniczych.

Doktorat na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury udowodnił, że dostępna literatura przedmiotu nie zawiera wystarczającej ilości informacji na temat parametrów stopów lutowniczych na bazie cyny, które sprostająby stawianym wymaganiom dla zapewnienia wysokiej jakości zregenerowanych alternatorów. Uważam, że oceniana rozprawa doktorska uzupełnia lukę wiedzy naukowej dotyczącą regeneracji alternatorów z wykorzystaniem nowoczesnych stopów lutowniczych. Jednocześnie stwierdzam, że podjęty temat rozprawy doktorskiej jest aktualny, w pełni uzasadniony i stanowiący znaczny potencjał aplikacyjny.

W przeprowadzonych przez Pana mgr Adama Döringa badaniach rozpoznawczych, poddano ocenie jakości połączenia lutowane, wykonane za pomocą lutów o złożonych składach chemicznych oraz połączenia wykonane przy różnych parametrach procesu. Na podstawie badań wizualnych ustalano parametry procesu lutowania, tj. temperatury grota równej 380°C oraz czas styku lutowanych elementów 5 s. Wyjątek stanowił materiał Zen-2, w którym ww. parametry procesu przyczyniły się do występowania niezgodności lutowniczych.

Na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałościowych na rozciąganie, Doktorat udowodnił, że skład chemiczny lutowiny przełożył się na wyniki badań wytrzymałościowych i dla większości lutów zauważono korelacje pomiędzy ilością składników a uzyskaną przez połączenie wytrzymałością. Autorski lut Zen-11 pozwolił na wykonanie złącza charakteryzującego się najwyższą wytrzymałością na rozciąganie spośród wszystkich badanych połączeń.

Na podstawie przeprowadzonych badań radiograficznych Doktorat pozytywnie ocenił próbki oznaczane Zen-1, Zen-3, Zen-4, Zen-5, Zen-6, Zen-7, Zen-10 oraz Zen-11. Ocena makroskopowa lutu potwierdziła, że we wszystkich próbkach wykonanych za pomocą tych lutów, lut jest gładki, błyszczący i jednorodny, co świadczy o właściwym wykonaniu tych połączeń. Każdorazowo materiał bazowy został odpowiednio przetopiony z lutowiem. Pozostałe testowane złącza zawierały wiele niezgodności takich jak: brak przetopu, brak wypełnień, wycieki lutowiny, występowanie pęcherzyków powietrza, porowatość.

Na podstawie badań rozpoznawczych Doktorat stwierdził, że najlepszymi lutami są luty zastosowane w próbkach Zen-10 oraz Zen-11 ponieważ są pozbawione wad lutowniczych oraz wykazują największą wytrzymałość na rozciąganie, tj. około 80 – 90 MPa. Próbkę wykonaną za pomocą tych dwóch lutów wykazują strukturę gwarantującą dobre własności mechaniczne, na które składa się osnowa eutektyczna (wieloskładnikowa) z licznymi wtrąceniami fazowymi. Dobrano następujące parametry procesu lutowania: czas styku 5 s., temperatura grotu 380°C.

Biorąc pod uwagę wnioski z przeprowadzonych badań rozpoznawczych, za zasadną uznaję tezę podstawioną przez Pana mgr Adama Dóringa, zakładającą, że „znaczną poprawę własności użytkowych połączeń podzespołów alternatorów pojazdów samochodowych można uzyskać poprzez odpowiednią modyfikację składu chemicznego lutów i technologii lutowania używanych podczas regeneracji podzespołów tych urządzeń”.

Przetawione w rozprawie badania zasadnicze oceniam za racjonalnie zaplanowane, a dobór metod badawczych za prawidłowy. Do najważniejszych badań, które wykonał Doktorat zaliczam opracowanie sposobu lutowania elementów alternatora przy pomocy autorskiej metody z wykorzystaniem tulejki miedzianej – ocynowanej, badania rzadkoplątności i badania rentgenowskie.

Doktorat zaobserwował, że próbki o symbolach Zen-10 i Zen-11 charakteryzują się najlepszymi parametrami rzadkoplątności, ponieważ w tych tulejkach nie stwierdzono występowania pęcherzyków powietrza ani innych wad. Na podstawie analizy mikrostruktury połączeń wykonanych za pomocą lutów Zen-5, Zen-7, Zen-10 i Zen-11 stwierdzono, że w osnowie eutektycznej formułują się fazy międzymetaliczne, które mają kluczowe znaczenie dla uzyskiwanych właściwości złącza lutowanego. Taka formacja faz międzymetalicznych w procesie lutowniczym zapewnia uzyskiwanie połączeń charakteryzujących się odpowiednimi właściwościami wytrzymałościowymi. Materiał składający się z osnowy eutektycznej i wzmocniony wydzielającymi się drobnymi fazami międzymetalicznymi ma właściwości kompozytu wzmacnianego cząstkami.

Uzyskanie pożądanej mikrostruktury połączeń potwierdziły wyniki badań wytrzymałościowych, ponieważ połączenia lutowane wykonane z wykorzystaniem nowo opracowanych lutów wykazały od 1,2 do 1,5 razy większą wytrzymałość na rozciąganie niż połączenia wykonane za pomocą dotychczas stosowanych lutów ze stopu cyny. Złącza wykonane z wykorzystaniem nowo opracowanych lutów Zen-10 i Zen-11 podczas badań wytrzymałościowych pękały w złączu, a zarejestrowana siła zrywająca była znacznie wyższa niż siła potrzebna do zerwania klasycznego złącza wykonanego z dotychczas stosowanego lutu cynowołowiowego (Zen-0). Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że

w przypadku wykonanych złączy lutowanych, na właściwości mechaniczne, oprócz działających sił kohezji pomiędzy materiałem rodzimym i zastosowanym lutem wpływa struktura lutowiny oraz występowanie i rozkład w niej faz międzymetalicznych. Struktura ta decyduje w głównej mierze o wytrzymałości na ścinanie, a złącza wykazujące najwyższe własności wytrzymałościowe pękały po przekątnej w lutowinie zgodnie z działaniem sił ścinających.

Na szczególne wyróżnienie zasługuje testowanie złączy lutowanych na rzeczywistym alternatorze wykorzystując autorskie luty Doktoranta. W tym celu Doktorat wykonał połączenia lutowane wykorzystując luty Zen-10 Zen-11, które wykazały najlepsze właściwości w badaniach rozpoznawczych i zasadniczych. Wykonanie tych połączeń wykorzystano do określenia charakterystyk napięć elektrycznych w regenerowanym alternatorze.

Alternatory z grupy Zen-11 wykazują bardziej zrównoważone parametry, łącząc niższy prąd tętnienia, wyższe napięcie i wyższy prąd obciążenia. To czyni je bardziej wydajnymi, stabilnymi i odpowiednimi do zasilania systemów elektrycznych w porównaniu do lutów z grupy Zen-10.

Na podstawie przeprowadzonych badań Doktorant uznał, że alternatory zregenerowane lutem o symbolu Zen-11 mają niższy prąd tętnienia, wyższe napięcie wyjściowe oraz wyższy prąd obciążenia niż alternatory zregenerowane lutem Zen-10. Dzięki temu alternatory zregenerowane lutem Zen-11 są bardziej wydajne i stabilne, przez co mogą być stosowane w alternatorach samochodowych. Po wdrożeniu autorskiego rozwiązania Pana mgr Adama Dóringa w zakładzie produkcyjnym AS-PL Sp. z o.o. do procesu regeneracji alternatorów samochodowych, w oparciu o raporty reklamacji/zwrotów, Doktorat dokonał analizy jakości regenerowanych alternatorów autorską metodą i dotychczas stosowanymi metodami. Wskaźnik reklamacji i zwrotów spadł z 7.4% (dla alternatorów regenerowanych dotychczas stosowanymi metodami) do 1.8% (dla alternatorów regenerowanych autorską metodą Doktoranta). Potwierdza to skuteczność nowej metody lutowania i świadczy o znacznej poprawie jakości regenerowanych alternatorów.

Uwzględniając aktualność podjętej tematyki oraz biorąc pod uwagę oryginalność zaproponowanego rozwiązania złączy lutowanych do zastosowania w regeneracji alternatorów samochodowych, niniejszą rozprawę oceniam na bardzo wysokim poziomie merytorycznym a wdrożenie zaproponowanego rozwiązania dowodzi słuszności podjętej tematyki i znacznemu wpływowi działalności naukowej Doktoranta na funkcjonowanie społeczeństwa i gospodarki. Stwierdzam, że a dorobek naukowo-badawczy Doktoranta stanowi wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria lądowa, geodezja i transport.

4. Uwagi krytyczne i redakcyjne

Pomimo bardzo wysokiej oceny ogólnej i merytorycznej rozprawy doktorskiej Pana mgr Adama Döringa, oceniając dysertację nasunęło mi się kilka uwag krytycznych i redakcyjnych. Nie ujmują one jednak osiągnięciu naukowemu, które zaprezentował Doktorant.

Uwagi krytyczne:

1. W pracy przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych z próby rozciągania połączeń lutowanych. W wynikach z badań (tabl. 5) przedstawiono wytrzymałość na rozciąganie wyrażoną w MPa. Jakie pole przekroju przyjęto do obliczeń naprężeń? Czy dokonano pomiaru średnicy połączenia? Przy tak małych średnicach złączy, małe co do wielkości różnice pola przekroju złączy mają istotny wpływ na wielkość naprężeń. Czy nie lepiej było porównywać siły przeniesione przez połączenia określając tym samym nośność złączy? Szczególnie, że Doktorat analizując mechanizm zniszczenia złączy stwierdza złożony stan naprężeń, tj. występowanie naprężeń rozciągających i ścinających. Czy weryfikowano powtarzalność wyników wykonując wielokrotną liczbę prób nominalnie identycznego złączy?
2. W rozdziale „5.2. Teza” napisano, że zaplanowano wykonać „porównywanie charakterystyk napięć w regenerowanym alternatorze wg autorskiej metody i porównanie ich z charakterystykami napięć w fabrycznie nowym alternatorze”. W rozdziale „6.6. Badania elektryczne wybranych złączy lutowanych” przedstawiono wyniki charakterystyki napięć fabrycznie nowego alternatora samochodowego oraz alternatorów regenerowanych za pomocą lutów Zen-10 oraz Zen-11. Porównano charakterystyki napięć alternatorów regenerowanych za pomocą lutów Zen-10 oraz Zen-11, ale nie odniesiono się do charakterystyk fabrycznie nowego alternatora.
3. W pracy zaprezentowano liczne atuty zaproponowanego rozwiązania lutów wieloskładnikowych do zastosowania w regeneracji alternatorów samochodowych. Czy bazując na wynikach badań własnych Doktoranta oraz na wnioskach wynikających z wdrożenia rozwiązania do przemysłu zaobserwowano jakieś ograniczenia związane z zaprezentowanym rozwiązaniem (np. technologiczne, ekonomiczne)?

Uwagi redakcyjne:

1. W podpisie Rys. 43. Brakuje odniesienia do rysunku „b.”.
2. Na str. 99 zamieszczono jedynie początek zdania, tj. „Odnosząc się do normy IPC610”.
3. W polskiej tradycji ortotypograficznej oznaczenia °C pisze się za liczbą bez spacji. Jest to odstępstwem od zaleceń normy międzynarodowej, nakazujących zapisywać wspomniane oznaczenie z odstępem, tak jak wszystkie inne oznaczenia jednostek miar.

4. Wnioski i ocena końcowa

Po zapoznaniu się rozprawą doktorską mgr Adama Döringa na temat „Własności użytkowe wieloskładnikowych złączy lutowanych do zastosowania w regeneracji alternatorów samochodowych” uważam, że rozprawa prezentuje bardzo wysoki poziom wiedzy teoretycznej Doktoranta w dyscyplinie i stanowi wkład Autora w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria lądowa, geodezja i transport w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i zastosowanie wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej. Doktorant opracował i sprawdził własności mechaniczne i elektryczne wieloskładnikowego lutu, który doskonale nadaje się do regeneracji elementów alternatorów samochodowych. Uważam, że Doktorant udowodnił postawioną tezę. Doceniam staranne opracowanie uzyskanych wyników badań w warunkach laboratoryjnych i na obiekcie rzeczywistym oraz umiejętność interpretacji wyników i formowania wniosków. Jednocześnie stwierdzam, że podjęty temat rozprawy doktorskiej jest aktualny i w pełni uzasadniony wdrożeniem wyników w zakładzie produkcyjnym. Uważam, że mgr Adam Döring wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Oceniając wartość merytoryczną rozprawy doktorskiej stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz.U. z 2024 poz. 1571 z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony. Ponadto z uwagi na osiągnięcie naukowe w znacznym potencjale aplikacyjnym uzasadnionym wdrożeniem w zakładzie produkcyjnym, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

✓