dr hab. inż. Anna Rudawska, prof. uczelni
Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska
Ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin

Lublin, 08.09.2021 r.

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. Przemysława Bielendy p.t.: „Wpływ cyklicznych obciążeń cieplnych na nośność połączeń klejowych czopowych walcowych”

Podstawą sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej z dnia 16 lipca 2021 roku, nr RM-530-17-04/2019/21 i zawarta na tej podstawie umowa o dzieło.

1. Cel i hipoteza rozprawy oraz plan badań

Głównym celem recenzowanej rozprawy było określenie wpływu cyklicznych obciążeń cieplnych naturalnych oraz sztucznych na właściwości wytrzymałościowe połączeń klejowych czopowych walcowych wykonanych ze stopu aluminium i kompozytu szklano-epoksydowego wzorowanego na połączeniu występującym w konstrukcji izolatorów wsporczych napowietrznych stosowanych w sieciach wysokiego i bardzo wysokiego napięcia.

Sformułowano także hipotezę w brzmieniu: „Cykliczne obciążenia termiczne mają wpływ na właściwości wytrzymałościowe połączeń klejowych czopowo walcowych.” W celu weryfikacji postawionej hipotezy pracy Doktorant opracował plan badań, obejmujący następujące zagadnienia:

1. „Badania wstępne mające na celu dobór kompozycji klejowej dla połączenia klejowego czopowo walcowego.
2. Badania wpływu starzenia naturalnego na wytrzymałość połączeń czopowo walcowych dla różnych okresów pogodowych oraz w różnych wariantach długości starzenia.

3. Badanie wpływu szoków termicznych na wytrzymałość połączeń czopowo walcowych dla różnej liczby cykli oraz przy różnych grubościach warstwy kleju.
4. Analiza statystyczna wyników metodą t-Studenta.
5. Stworzenie modelu numerycznego MES połączenia klejowego czopowo walcowego oraz analiza odkształceń cieplnych Metodą Elementów Skończonych w określonych temperaturach.
6. Sformułowanie wniosków z przeprowadzonych badań oraz analiz".

Realizacja przyjętego celu rozprawy oraz weryfikacja sformułowanej hipotezy, wymagała zarówno głębokiej analizy teoretycznej omawianej tematyki, jak również przeprowadzenia przez Doktoranta wielu badań eksperymentalnych oraz analizy numerycznej, których opis i rezultaty są przedstawione w niniejszej rozprawie.

2. Zakres rozprawy

Rozprawa jest klasyczną pracą naukową, która łączy badania doświadczalne oraz analizę numeryczną, a jej tytuł jest adekwatny do zawartych w niej treści. Układ rozprawy jest przejrzysty i właściwy. Składa się ona z dziesięciu rozdziałów (numerowanych), a także zawiera wprowadzenie oraz podsumowanie i wnioski.

Pierwsze cztery rozdziały obejmowały przegląd literatury na temat ogólnej charakterystyki połączeń klejowych w budowie maszyn, właściwości fizykochemicznych klejów, wpływu czynników technologicznych i konstrukcyjnych na właściwości wytrzymałościowe połączeń klejowych, a zwłaszcza połączeń klejowych czopowo walcowych, zagadnienia trwałości połączeń klejowych (w tym dotyczące wpływu temperatury na wytrzymałość połączeń klejowych, czy też wytrzymałości zmęczeniowej i cieplnej połączeń klejowych).

Na podstawie przytoczonych zagadnień w rozdziale piątym wskazano obszary znane oraz te, które nie są dostatecznie i szczegółowo poznane oraz sformułowano wnioski, których główną konkluzją jest stwierdzenie, że „zagadnienie wpływu cyklicznych zmian temperatury wywołanych w sposób naturalny poprzez starzenie naturalne bądź też przez szoki termiczne, wywołane w warunkach laboratoryjnych, na właściwości wytrzymałościowe połączeń klejowych, w szczególności czopowych walcowych, wymaga szerszego opracowania".

Ocena stanu wiedzy opisana w tych rozdziałach rozprawy przekonuje, że podjęcie i wykonanie rozprawy jest celowe, jak również uzasadnione. Analiza stanu wiedzy pozwoliła

także na określenie głównego celu naukowego, hipotezy oraz planu badań, umożliwiających weryfikację przyjętej hipotezy, które zamieszczono w rozdziale szóstym.

Rozdział siódmy poświęcony jest metodyce badań, w którym przedstawiono charakterystykę materiałów, tworzących połączenie klejowe czopowo walcowe (materiały łączone oraz kleje), zawarto opis sposobu przygotowania próbek, zamieszczono metodyki: pomiaru chropowatości powierzchni, badań wytrzymałościowych, wstępnych badań połączeń klejowych czopowych walcowych, badań dotyczących wpływu sezonowania w warunkach naturalnych na wytrzymałość oraz badań dotyczących wpływu cyklicznych obciążeń termicznych na wytrzymałość.

Rozdział ósmy zawiera rezultaty przeprowadzonych badań doświadczalnych przedstawiających: wyniki pomiarów chropowatości, wyniki badań wstępnych połączeń klejowych czopowych walcowych, wyniki badań wpływu sezonowania naturalnego oraz rezultaty badań wpływu cyklicznych obciążeń termicznych.

W rozdziale dziewiątym zamieszczono analizę statystyczną wyników badań z wykorzystaniem testu t-Studenta zarówno badań wstępnych, jak i wyników badań wpływu sezonowania naturalnego oraz wyników badań wpływu cyklicznych obciążeń termicznych.

Rozdział dziesiąty poświęcony jest analizie MES rozszerzalności cieplnej połączenia klejowego czopowego walcowego, w którym zamieszczono opis budowy modelu MES połączenia klejowego czopowego walcowego oraz przedstawiono wyniki symulacji dla temperatury 60°C i wyniki symulacji dla temperatury -20°C, przy czym analiza MES rozszerzalności cieplnej połączenia klejowego czopowo walcowego została przeprowadzona dla 3 wariantów grubości spoiny klejowej, a dla każdego z wariantów przeanalizowano rozkład naprężeń promieniowych, osiowych, obwodowych oraz tnących. W rozdziale tym dokonano także analizy wyników symulacji numerycznych.

Ostatni rozdział stanowi podsumowanie rozprawy doktorskiej, w którym na podstawie otrzymanych rezultatów sformułowano wnioski.

Rozprawa składa się z 124 stron i zawiera 90 rysunków oraz 27 tabel. W rozprawie znajduje się również streszczenie w języku polskim (str. 121-122) i angielskim (str. 123-124). Cytowana literatura obejmuje 87 pozycji (która nie została przygotowana ani w porządku alfabetycznym, ani zgodnie z kolejnością cytowania) i obejmuje publikacje polskie oraz pozycje zagraniczne w języku angielskim. W zestawieniu literatury ujęto m.in. 2 normy techniczne i 4 pozycje o charakterze instrukcji technicznych lub materiałów informacyjnych

oraz 16 pozycji dotyczących źródeł internetowych. Nie występują natomiast opisy patentowe. W wykazie literatury nie znajdują się publikacje Doktoranta, w których jest on autorem lub współautorem.

3. Ocena ogólna rozprawy

Cel pracy oraz hipoteza zostały sformułowane jasno i przejrzyście. Dotyczą one zagadnień, które nie były tak szczegółowo analizowane, zwłaszcza w rozpatrywanym kontekście wpływu cyklicznych zmian temperatury wywołanych w sposób naturalny poprzez starzenie naturalne bądź też przez szoki termiczne (starzenie sztuczne), na właściwości wytrzymałościowe połączeń klejowych, zwłaszcza czopowych walcowych (występujących m.in. w konstrukcji izolatorów wsporczych napowietrznych stosowanych w sieciach wysokiego i bardzo wysokiego napięcia).

Przeprowadzona analiza numeryczna stanu naprężeń w spoinie klejowej połączeń klejowych czopowych walcowych w temperaturze -20 °C oraz +60 °C, pozwoliła lepiej poznać zagadnienia związane z wpływem analizowanych czynników na wytrzymałość połączeń klejowych czopowo walcowych. Ma to duże znaczenie ze względu zarówno w aspekcie technologii wykonania połączeń klejowych czopowo walcowych, jak i eksploatacji tych połączeń w określonej temperaturze z uwzględnieniem wytrzymałości.

Analiza stanu wiedzy przeprowadzona została dość wyczerpująco. Obejmowała ona zakres tematyczny rozprawy, przy czym Doktorant w tej części scharakteryzował dotychczasowe badania oraz wyniki tych badań w odniesieniu do tematyki rozprawy, podkreślając, że połączenia klejowe są narażone na różne warunki środowiskowe w trakcie ich użytkowania, a warunki te mogą wpływać negatywnie na własności mechaniczne spoiny klejowej, obniżając trwałość połączenia. Ponadto przedstawiono podsumowanie tej analizy, na podstawie której sformułowano wnioski, ułatwiające Doktorantowi określenie celów rozprawy, hipotezy badawczej oraz ustalenie odpowiedniego zakresu badań eksperymentalnych, prawidłowego wyboru metod badawczych oraz wszelkich zagadnień związanych z przeprowadzeniem analizy numerycznej.

Część eksperymentalna rozprawy został podzielona na badania wstępne, mające na celu wybór określonego rodzaju kompozycji klejowej i sposobu przygotowania powierzchni próbek stosowanych w badaniach zasadniczych oraz na badania zasadnicze. Taki podział wydaje się uzasadniony, jednak w pracy zabrakło wyraźnego wskazania, że w podrozdziałach

„8.3. Wyniki badań wpływu sezonowania naturalnego” oraz „8.4. Wyniki badań wpływu cyklicznych obciążeń termicznych” przedstawiono wyniki badań zasadniczych, w których zastosowano wybrany klej Araldit 2014, przy czym w podrozdziale 8.2 wskazano, że są to wyniki badań wstępnych połączeń klejowych czopowych walcowych. Pewien niedosyt budzi część doświadczalna związana przede wszystkim z technologią wykonania połączeń klejowych, a także opis metodyki wykonywania niektórych pomiarów oraz część dotyczącą analizy statystycznej wyników badań. Zabrakło wyjaśnienia, dlaczego analiza statystyczna otrzymanych rezultatów została wykonana w oparciu o test t-Studenta. Moim zdaniem konieczne było zamieszczenie w metodyce badań informacji na temat m.in. metod, hipotez statystycznych, poziomu istotności (lub współczynnika ufności) oraz uzasadnienia wyboru określonej metodyki przeprowadzenia analizy statystycznej wyników. Uwagi szczegółowe dotyczące części doświadczalnej przedstawiono w dalszej części recenzji. Jednakże na podkreślenie zasługuje duża ilość badań eksperymentalnych, a zwłaszcza badań związanych z wpływem sezonowania naturalnego oraz sztucznego (szoków termicznych) na nośność połączeń czopowo tulejowych. Badania uwzględniające starzenie naturalne są badaniami czasochłonnymi, które stanowią niezwykle cenne uzupełnienie wiedzy na temat wpływu określonych czynników (m.in. czynników atmosferycznych) na właściwości (tu: mechaniczne) połączeń klejowych. Na uwagę zasługuje także przeprowadzenie badań dotyczących szoków termicznych rozpatrywanych połączeń klejowych, będących odwzorowaniem sezonowania sztucznego, które były badaniami czasochłonnymi i pracochłonnymi, gdyż Doktorant nie dysponując komorą szoków termicznych, zrealizował te badania z wykorzystaniem dwóch urządzeń. Uważam także, że cenną zaletą przeprowadzonych badań jest przyjęcie przedmiotu badań (tu: połączeń klejowych czopowych walcowych) wzorowanego na połączeniu występującym w konkretnej konstrukcji, a w tym przypadku konstrukcji izolatorów wsporczych napowietrznych stosowanych w sieciach wysokiego i bardzo wysokiego napięcia oraz przyjęcie podczas badań niektórych warunków eksploatacyjnych, w których takie konstrukcje są obciążone zmiennymi obciążeniami mechanicznymi oraz cieplnymi. Dzięki czemu podkreślono także aspekt aplikacyjny.

Część numeryczna rozprawy dotyczyła analizy MES rozszerzalności cieplnej połączenia klejowego czopowo walcowego. Analizę rozkładu naprężeń wywołanych temperaturą podzielono na dwa etapy: analizę rozkładu temperatury w modelu oraz określenie rozkładu naprężeń wywołanych temperaturą. Analiza MES rozszerzalności cieplnej połączenia

klejowego czopowo walcowego została przeprowadzona dla 3 wariantów grubości spoiny klejowej (choć nie uzasadniono wyboru przyjętych grubości spoiny klejowej), a dla każdego z wariantów przeanalizowano rozkład naprężeń promieniowych, osiowych, obwodowych oraz tnących. Założenie takich etapów analizy i przyjęcie określonych wariantów połączeń umożliwiło realizację założonego jednego z celów rozprawy oraz formułowanie wniosków wynikających z analizy MES połączeń klejowych dla zastosowanych wariantów temperatury. Na podkreślenie zasługuje dość obszerny zakres analizy numerycznej związanej z analizą trzech wariantów spoiny klejowej oraz symulacjami dla temperatury 60°C i -20°C. Jednakże Doktorant nie przedstawił, czy zastosowane dane materiałowe kleju przyjęte do obliczeń numerycznych zostały przyjęte na podstawie badań własnych, czy na podstawie literatury, przy czym nie została wskazana ewentualna literatura. Ponadto nie uwypuklono, jaki zastosowano model materiału do opisu właściwości materiałowych kleju. Oprócz tego nie wskazano sposobu (interakcji) zamodelowania kontaktu pomiędzy spoiną klejową a łączonymi materiałami oraz czy zastosowany rodzaj elementów skończonych, umożliwia opis mechanizmu zniszczenia spoiny klejowej w procesie obciążania połączenia klejowego.

Praca została wykonana na dobrym poziomie merytorycznym, ze względu zarówno na sposób jej wykonania, jak i zakres przeprowadzonych badań doświadczalnych i analiz numerycznych, choć pojawiają się pewne zastrzeżenia i uwagi (które nie obniżają pozytywnej całościowej oceny rozprawy), przedstawione poniżej.

1. W badaniach doświadczalnych analizowano trzy grubości spoiny klejowej: 0,05 mm; 0,10 mm oraz 0,15 mm, natomiast w analizie numerycznej zastosowano grubości spoiny klejowej wynoszące: 0,025 mm, 0,075 mm oraz 0,125 mm. W pracy nie podano żadnego uzasadnienia wyboru takich wartości grubości spoiny klejowej.
2. Rozdział 7. Brak informacji na temat ilości próbek poddanych poszczególnym pomiarom i badaniom, wymienionych w rozdziale 7.
3. Rozdział 7. Wydaje się, że Doktorant powinien określić w metodyce badań oznaczenia wariantów sezonowania i konsekwentnie je stosować.
4. W opisie materiałów (podrozdział 7.1) pojawiły się pewne niezręczne sformułowania związane z określeniami klejów. W przypadku kleju o oznaczeniu Araldit 2014, wystąpiło sformułowanie model, raczej jest to typ lub rodzaj. Pojawiają się także nieścisłości związane z oznaczeniem kleju (dotyczy także dalszej części pracy): stosowane jest oznaczenie Araldit 2014 i Araldit 2014-1. Czy jest to ten sam rodzaj

kleju? W odniesieniu do kleju epoksydowego Doktorant wspomina: „Żywice Epidian 57 firmy Ciech są klarowną cieczą o żółtej barwie...” oraz „Klej Epidian 57 w połączeniu z utwardzaczem PAC..”, jednak Epidian 57 jest to modyfikowana żywica epoksydowa, to nie są żywice i żywic ta nie jest klejem, ale tworzy klej wraz z określonym utwardzaczem. Ponadto brak jest opisu technologii przygotowania obu klejów epoksydowych. Nie występuje także uzasadnienie wyboru konkretnych klejów, uwzględniając aspekt prowadzonych badań wstępnych.

5. W opisie prętów z kompozytu epoksydowo-szklanego zabrakło informacji na temat, czy jest to wałek (pręt – Tabela3) zakupiony, czy wykonany przez Doktoranta.
6. W metodyce pomiaru chropowatości powierzchni (podrozdział 7.2) zabrakło pewnych informacji na temat miejsc pomiarowych, odcinka pomiarowego, ilości powtórzeń, czy też ilości próbek, na których powierzchniach przeprowadzono pomiary. Brak jest także informacji na temat zastosowanych norm do oceny parametrów chropowatości 2D i 3D. Ponadto wymienione pojęcia dotyczące definicji parametrów chropowatości powierzchni są zbędne, a zasadne byłoby zdefiniowanie parametrów chropowatości powierzchni 2D i 3D, które zostały zmierzone i przedstawione w podrozdziale 8.1. Bardziej korzystne byłoby także podanie rodzaju ściernicy (a nie tylko wymiarów), wykorzystanej do szlifowania wałków, wykonanych z kompozytu epoksydowo-szklanego.
7. Przedstawiono niepełne informacje dotyczące metody i warunków utwardzania. Ponadto, czy dla obu zastosowanych klejów zastosowano taki sam czas i warunki utwardzania? Jest to pytanie nasuwające się po dwóch stwierdzeniach: „Próbki pozostawały w przyrządzie aż kleje uzyskały swoje właściwości mechaniczne.” Oraz „Połowę próbek poddano dotwardzaniu termicznemu. Cały proces opierał się na wygrzewaniu próbek w piecu komorowym firmy Kepka Group w temperaturze 120ºC w czasie 60 min. Wygrzewanie spoiny wykonanej klejem epoksydowym wpływa na jej dodatkowe utwardzenie, co wzmacnia wytrzymałość samego połączenia.” Autor wspominał także: „Po upływie wspomnianego czasu próbki studzono w temperaturze pokojowej.”, natomiast brak jest informacji dotyczącej tego czasu. Warto byłoby podać krzywą temperaturową procesu dotwardzania spoiny klejowej.

8. Nie przedstawiono normy badawczej, która była podstawą przeprowadzania prób wytrzymałościowych (podrozdział 7.4) oraz brak jest informacji na temat czasu i warunków kondycjonowania próbek przed badaniami wytrzymałościowymi.
9. Podrozdział 7.5. Pojawiła się pewna niezręczność podczas formułowania zdania: „Badania wstępne przeprowadzono w celu wyboru rodzaju kompozycji klejowej o sposobu przygotowania powierzchni próbek stosowanych w badaniach zasadniczych….". Ponadto wydaje się, że fragment opisujących właściwości zastosowanych klejów powinien zostać przeniesiony do podrozdziału opisującego właściwości zastosowanych materiałów, bowiem część charakterystyki materiałów znajduje się w podrozdziale 7.1 , a część w podrozdziale 7.5.
10. W pracy nie występuje szczegółowy opis parametrów technologicznych procesu alodynowania, a także informacje dotyczące technologii przygotowania powierzchni próbek nie znajdują się w jednym miejscu w pracy, ale są umieszczone w różnych częściach rozdziału 7. Takie podejście wprowadza pewien chaos i prowadzi do pewnych niespójności i powtórzeń (np. dotyczące dodatkowego dotwardzania).
11. Podrozdział 7.6. Nie przedstawiono sposobu umieszczania próbek w poszczególnych urządzeniach badawczych, sposobu przenoszenia próbek do poszczególnych urządzeń i czasu osiągania przez próbki założonej temperatury. Nie wspomniano o ilości próbek jednocześnie umieszczanych w poszczególnych przestrzeniach urządzeń badawczych.
12. Podrozdział 8.1. Czy zamieszczone w tabelach 5,6 i 7 wyniki uzyskano dokonując pomiarów poszczególnych parametrów chropowatości powierzchni (2D i 3D) na jednej próbce? Ponadto w zapisie liczb dziesiętnych powinien znaleźć się przecinek, który oddziela całości od części ułamkowe, a nie kropka. Oprócz tego brakuje wyjaśnienia symboli poszczególnych parametrów chropowatości powierzchni i wspomnianej już normy badawczej.
13. Podrozdział 8.1. Analiza uzyskanych wyników w tym podrozdziale jest bardzo lakoniczna. Jeżeli wymieniony jest tylko parametr Ra i Sa, jaka jest zasadność przedstawiania wyników innych parametrów?
14. Podrozdział 8.2. Wydaje się, że Doktorant powinien na początku umieścić zdanie wprowadzające dotyczące zamieszczonych w tabeli 8 i na rys. 52 wyników (co jest zamieszczone na str. 73), a następnie powinien opisać uzyskane rezultaty badań wstępnych). Ponadto wyniki zamieszczone na rys. 52 są powtórzeniem wyników

zamieszczonych w tabeli 8, w związku z tym uważam, że tabela 8 jest w tym przypadku niepotrzebna. Dodatkowo na rys. 52 brak jest opisu osi X i Y. W tabeli 8 powinna być zastosowana jednakowa dokładność zapisu liczb.

15. Podrozdział 8.2. Na jakiej podstawie Doktorant przedstawił następujące stwierdzenia: „Próbki sklejone tym klejem nie wykazują wrażliwości na powtórne nagrzewanie, a w niektórych przypadkach powodowało wzrost wytrzymałości na ścinanie o 15%. Nie stwierdzono istotnego wpływu alodynowania na nośność połączeń czopowych walcowych sklejonych kompozycją Araldite 2014." (str. 71)?
16. Podrozdział 8.3. Wydaje się, że Doktorant powinien na początku umieścić zdanie wprowadzające dotyczące zamieszczonych w tabeli 9 i na rys. 53 wyników, a następnie powinien dokonać analizy wyników. Moim zdaniem powinna być zamieszczona albo tabela z wynikami, albo rysunek (ta forma jest korzystniejsza), gdyż jest to powtórzenie wyników. Ponadto na rys. 53 brak jest opisu osi X i Y, a w tabeli 9 powinna być zastosowana jednakowa dokładność zapisu liczb.
17. Rozdział 9. Wspominano już wcześniej, że Doktorant nie przedstawił uzasadnienia, dlaczego analiza statystyczna otrzymanych rezultatów została wykonana w oparciu o test t-Studenta. Brak jest informacji także na temat ilości próbek oraz informacji o spełnieniu założenia rozkładu normalnego w poszczególnych wariantach badawczych.
18. Rozdział 10. Część uwag do rozdziału 10 zostało wymienione we wcześniejszej części pkt. 3 niniejszej recenzji.
19. Podsumowanie i wnioski. Niezrozumiałe jest stwierdzenie: „Wyniki badań wstępnych pozwoliły wybrać rodzaj kompozycji klejowej stosowanej badaniach zasadniczych (Araldite 2014 oraz Araldite 2014-1) oraz sposób mechanicznego przygotowania powierzchni (toczenie otworu w tulei, szlifowanie wałka ze szkła epoksydowego)…". Czy wymienione kleje zostały wykorzystane do wykonania połączeń klejowych? Czy nie jest to ten sam klej, tylko wystąpił błędny jego zapis (wspomniano wcześniej o braku konsekwencji nazewnictwa klejów). Ponadto wydaje mi się, że nie można stwierdzić, że wynik badań wstępnym pozwoliły wybrać sposób mechanicznego przygotowania powierzchni, gdyż nie były analizowane różne warianty obróbki mechanicznej powierzchni łączonych elementów, tylko jeden wariant z określonymi parametrami technologicznymi obróbki, stosownie do tulei i wałka (str. 62).

4. Uwagi dotyczące edycji rozprawy

Rozprawa napisana jest w sposób przejrzysty. Niedosyt jednak budzi brak konsekwencji oznaczeń i niejednoznaczności terminologiczne, a także pojawiające się niekiedy błędy edycyjne oraz interpunkcyjne, które przedstawiono poniżej.

1. W obecnej nomenklaturze naukowej zaleca się stosowanie wyrażenia: „tworzywa polimerowe", a nie „tworzywa sztuczne" (np. książka pt.: Przetwórstwo tworzyw polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Praca zbiorowa pod. Red. R. Sikory, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006).
2. Moim zdaniem stosowane liczby mnogiej słowa temperatura jest niepoprawne. Zgodnie z definicją, *temperatura* jest to jedna z podstawowych wielkości fizycznych (parametrów stanu) w termodynamice.
3. W rozprawie brak jest numeracji przytaczanych zależności.
4. W wielu miejscach pracy pojawiają się błędy interpunkcyjne związane z brakiem przecinków przed zaimkami (np. który) i niektórymi spójnikami oraz inne błędy edycyjne (np. pozostawianie wolnych wyrazów na końcu wiersza itp.).
5. W niektórych fragmentach pracy występuje niekonsekwencja oraz błędy w stosowaniu lub zapisie niektórych określeń, czy też wyrazów (np. str. 59: „ponad to" i „ponadto", str. 60 - poprawna odmiana to: „klejów", a nie „klei", str. 59: powinno być: „korozję"
6. Brak jest konsekwencji w oznaczeniu kleju typu Araldite. Stosowane są, począwszy od rozdziału 7, zarówno nazwy „Araldite 2014", jak i „Araldite 2014-1", a w podrozdziale 9.1 występuje oznaczenie „araldite". Podobny brak niekonsekwencji występuje w przypadku oznaczenia kleju epoksydowego zawierającego żywicę epoksydową Epidian 57 oraz utwardzacz PAC, czego przykładami są oznaczenia tego kleju w tabelach 12-18 („Epidian 57+PAC"; „Epidian 57"; „Epidian").
7. Brak jest konsekwencji w oznaczeniu stopu aluminium (np. str. 59: „ENAC-AlSi7-Mg0,3" ; „ENAC-AlSi7Mg0,3" oraz „„AlSi7Mg0,3", str. 61: „ENAC-AlSi 7-Mg 0,3", str. 62: „ENAC-AlSi7Mg 0,3" itp.).
8. W pracy wykorzystywane jest (w zdecydowanej większości) wyrażenie „połączenie/a klejowe" oraz „połączenie/a klejone" (np. str. 65).
9. W tabeli 4 brak jest doprecyzowania rodzaju modułu, a w kilku miejscach brakuje symbolu stopnia.

10. Maszyna raczej nie wykonuje statycznych prób rozciągania, ale z jej wykorzystaniem są one przeprowadzane (str. 64).
11. Pojawiają się skróty myślowe, w których czasami brak jest orzeczenia np.: „Kształt oraz materiały z jakich wykonano próbki i sposób ich przygotowania do klejenia jak w pracy w punkcie 7.3."
12. W pracy występuje brak konsekwencji stosowania pisowni wyrażenia dotyczącego przedmiotu badań, tj. połączeń klejowych czopowo walcowych. W niektórych miejscach pojawia się wyrażenie pisane z łącznikiem, tzn. czopowo-walcowych (np. str. 62).
13. W rozdziale 7 występuje pomyłka w numeracji podrozdziałów (dwukrotnie występuje punkt 7.5).
14. Podrozdział 8.2. Tabela 8. Powinien być zapis „MPa".
15. Podrozdział 8.3. Pojawił się błąd w postaci wyrazu: „dotwarzaniu", powinno być: dotwardzaniu (str. 66, str. 74, str. 75 i inne). Ponadto pojawił się błąd w zapisie słowa: „ półroczny" (str. 75).
16. Podrozdział 10.2. Przedstawiono nieco odmienne nazewnictwo materiału zastosowanego na czop, tzn. „ szkło epoksydowe", podczas gdy we wcześniejszych fragmentach pracy występuje określenie: wałki lub czopy wykonane z „kompozytu epoksydowego wzmocnionego włóknem szklanym" (str. 61) lub „kompozytu epoksydowo-szklanego" oraz „kompozyt szkło-epoksydowy". Czy podane dane materiałowe w tym rozdziale dotyczą rzeczywiście szkła epoksydowego? Moim zdaniem występuje w przypadku nazewnictwa tego materiału pewna niekonsekwencja.
17. Podpunkt 10.4. Myślę, że „wkradł się" pewien błąd językowy. Tytuł tego podrozdziału powinien brzmieć: Analiza wyników symulacji numerycznej/ych, a Spisie treści jest: „Analiza wyników symulacji numerycznie". Ponadto na stronie 109, ten tytuł brzmi: „Analiza wyników symulacji numerycznych numerycznie".
18. Literatura nie jest przygotowana ani zgodnie z kolejnością cytowania, ani alfabetycznie. Brak jest konsekwencji zapisu cytowanej literatury oraz pewna niestaranność w jej przygotowaniu:
    a) występuje brak konsekwencji w zapisie nazwy czasopisma (np. poz. 5, poz. 6 - powinno być: Technologia i Automatyzacja Montażu oraz poz. 68, 77),

b) format zapisu dotyczący roku, nr oraz stron publikacji jest różny,
c) w większości pozycji literaturowych brak jest numeru stron,
d) format zapisu nazwy czasopisma zagranicznych jest różny, tj. niekiedy podana jest pełna nazwa czasopisma (np. poz. 52 i 53), a niekiedy skrót oraz zastosowane są różne znaki (np. poz. 43 i poz. 47),
e) w przypadku poz. 19 oraz 69 brak jest podania daty dostępu do tych informacji,
f) występując błędy edycyjne w tytule artykułu (poz. 87).

Przedstawione powyżej uwagi edycyjne nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy.

5. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter oryginalnej pracy naukowej, łączącej w sobie 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 wpływu cyklicznych obciążeń cieplnych naturalnych oraz sztucznych na właściwości wytrzymałościowe połączeń klejowych czopowych walcowych wykonanych ze stopu aluminium i kompozytu szklano-epoksydowego. Wykazano, że cykliczne obciążenia cieplne naturalne oraz sztuczne (szoki termiczne) wpływają na właściwości wytrzymałościowe analizowanych połączeń klejowych czopowych walcowych. Zmiany właściwości wytrzymałościowych badanych połączeń spowodowane są cyklicznymi zmianami naprężeń wywołanych zmianami temperatury. Przedstawiono, że wydłużanie czasu sezonowania do roku i 2 lat nie wywołało istotnych statystycznie zmian nośności połączeń utwardzonych w temperaturze pokojowej. Natomiast nośność połączeń poddanych obróbce cieplnej (dotwardzaniu) wraz wydłużaniem czasu sezonowania zmniejszyła się. Zmiana ilości cykli obciążeń cieplnych od 50 do 150 cykli nie wykazała istotnych statystycznie zmian nośności badanych połączeń klejowych, przy czym przedstawiono przypuszczenie, że istotne zmiany nośności badanych połączeń klejowych czopowo walcowych mogą wystąpić powyżej 150 cykli szoków termicznych. Przeprowadzona analiza numeryczna wykazała m.in., że dla analizowanych grubości spoin klejowych naprężenia w temperaturze -20°C mają większą wartość bezwzględną od naprężeń w temperaturze 60°C zarówno w strefie środkowej połączenia klejowego, jak i strefie przykrawędziowej, a ponadto wskazano, że na wartość

naprężeń ma wpływ grubość spoiny klejowej. Przedstawione wnioski mają istotne znaczenie poznawcze i utylitarne.

Uzyskane wyniki badań potwierdzają słuszność sformułowanego celu głównego rozprawy i hipotezy badawczej oraz stanowią weryfikację założonych celów i hipotezy rozprawy. Na uznanie zasługuje obszerny zakres badań doświadczalnych obejmujących zarówno długotrwałe badania doświadczalne oraz sztuczne, jak i analizy numerycznej, choć pewne zastrzeżenia budzi metodyka wykonania niektórych badań doświadczalnych, rezultaty tych badań oraz ich interpretacja. Pewną niedoskonałością pracy jest niestaranność przygotowania niektórych fragmentów.

Pomimo przedstawionych w punkcie 3 i 4 uwag krytycznych recenzowaną rozprawę doktorską mgr. inż. Przemysława Bielendy oceniam pozytywnie. Doktorant w konsekwentny sposób zrealizował przyjęty cel rozprawy, wykazując wpływ cyklicznych obciążeń cieplnych naturalnych oraz sztucznych (szoków termicznych) na właściwości wytrzymałościowe połączeń klejowych czopowych walcowych wykonanych ze stopu aluminium i kompozytu szklano-epoksydowego. Uzyskane wyniki badań zarówno z części doświadczalnej, jak i numerycznej przyczyniają się do poszerzenia wiedzy z zakresu oddziaływania czynników eksploatacyjnych wpływających na właściwości mechaniczne połączeń klejowych. Niniejsza rozprawa doktorska ma także znaczenie aplikacyjne, a uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w praktyce.

Na podstawie szczegółowej analizy przedłożonej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Przemysława Bielendy p.t.: „Wpływ cyklicznych obciążeń cieplnych na nośność połączeń klejowych czopowych walcowych" oceniam, że rozprawa ta spełnia warunki określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003 r., nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) oraz ustawy z dnia 20 lica 2020 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668) w odniesieniu do rozpraw doktorskich. Upoważnia mnie to do przedstawienia wniosku o dopuszczenie Pana mgr. inż. Przemysława Bielendy do publicznej obrony tej rozprawy oraz procedowania kolejnych etapów w zakresie ubiegania się przez Doktoranta o stopień naukowy doktora nauk inżynieryjno-technicznych.

Anna Rudawska