

Lublin, 12 lipca 2022r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej płk mgr inż. Jarosława Gąsiora

pt. " Analiza możliwości poprawy właściwości wytrzymałościowych i użytkowych połączeń hybrydowych stosowanych w lotnictwie".

promotor rozprawy: dr hab. inż. Marek Rośkowicz, prof. WAT
promotor pomocniczy: płk dr inż. Piotr Waślicki

*Ocenę opracowano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria
Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej
prof. dr hab. inż. Jerzego Małachowskiego z dnia 30.05.2022r.*

1. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY, METODYKA BADAŃ I ZAKRES PRACY

Przedstawiona do mojej oceny rozprawa doktorska pt. "Analiza możliwości poprawy właściwości wytrzymałościowych i użytkowych połączeń hybrydowych stosowanych w lotnictwie" dotyczy zagadnień związanych z oceną parametrów konstrukcyjnych połączeń hybrydowych (klejowo-mechanicznych), mającą na celu określenie możliwości ich efektywnej modyfikacji, prowadzącej do poprawy parametrów wytrzymałościowych i użytkowych połączenia. Analiza podjętego w pracy zagadnienia badawczego obejmuje część teoretyczną, badania doświadczalne oraz obliczenia numeryczne z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Przeprowadzony przez Autora przegląd literatury przedstawia aktualny stan wiedzy dotyczącej problematyki projektowania połączeń klejowych, mechanicznych oraz hybrydowych w aspekcie możliwości poprawy ich właściwości wytrzymałościowych oraz użytkowych. Dotyczy to przede wszystkim połączeń stosowanych w lekkich konstrukcjach lotniczych, które w zakresie obciążeń eksploatacyjnych narażone są na działanie złożonych

stanów obciążenia. Stąd znajomość rozkładów naprężenia w obszarze stosowanych połączeń stanowi zagadnienie o bardzo ważnym znaczeniu, zarówno pod względem wytrzymałości statycznej, jak i trwałości zmęczeniowej. Szczegółowa analiza stopnia wyężenia poszczególnych elementów połączenia stwarza podstawę do optymalizacji jego parametrów konstrukcyjnych i technologicznych, mogących w istotnym stopniu wpłynąć na zwiększenie wytrzymałości całego układu. Dotyczy to przede wszystkim połączeń hybrydowych, które pozwalają na ograniczenie występowania negatywnych zjawisk występujących w połączeniach, jak m.in. silnych koncentracji naprężeń umiejscowionych w pobliżu otworów montażowych elementów połączenia mechanicznego. Z drugiej strony występowanie w połączeniu łączników mechanicznych pozwala na częściowe odciążenie spoiny klejowej, której wytrzymałość, w szczególności na oddziaływanie czy obciążenia cykliczne jest znacznie ograniczona. Ponadto, zwłaszcza w konstrukcjach lotniczych, zastosowanie hybrydowego systemu łączenia elementów konstrukcyjnych stanowi pewien rodzaj zabezpieczenia w sytuacji, kiedy jedno z połączeń ulegnie uszkodzeniu. Proces niszczenia połączeń hybrydowych przebiega zazwyczaj dwuetapowo, co w istotny sposób zwiększa prawdopodobieństwo wczesnego wykrycia początku degradacji połączenia i pozwala na zabezpieczenie systemu łączącego przed zniszczeniem.

Celem pracy była szczegółowa analiza wpływu parametrów konstrukcyjnych i technologicznych elementów połączeń hybrydowych (klejowo-śrubowych oraz klejowo-nitowych), takich, jak m.in.: długość zakładki klejowej, stan przygotowania powierzchni, podatność warstwy adhezyjnej oraz odległość montażu łączników mechanicznych od krawędzi zakładki na nośność oraz trwałość zmęczeniową tych połączeń. Postawiono hipotezę badawczą, że możliwa jest poprawa właściwości wytrzymałościowych i użytkowych połączeń hybrydowych (klejowo-mechanicznych) poprzez wykorzystanie nowoczesnych łączników mechanicznych i zmianę geometrii ich rozmieszczenia. Prawidłowa ocena wpływu parametrów konstrukcyjnych badanych połączeń hybrydowych na ich nośność i trwałość zmęczeniową wymaga pogłębionej analizy warunków pracy układu, poddanego działaniu złożonego stanu obciążenia. W pracy wykorzystano do tego celu analizę numeryczną z wykorzystaniem metody elementów skończonych oraz eksperymentalne badania laboratoryjne, umożliwiające walidację opracowanych modeli numerycznych oraz ocenę stopnia wyężenia poszczególnych elementów konstrukcyjnych połączenia. Na ich podstawie określano wpływ badanych parametrów konstrukcyjnych i technologicznych na możliwość efektywnej poprawy wytrzymałości i trwałości zmęczeniowej połączenia.

We współczesnych konstrukcjach lotniczych czy motoryzacyjnych zastosowanie połączeń hybrydowych, stanowiących kombinację połączeń adhezyjnych i mechanicznych stale rośnie, co wynika z zalet takiego rozwiązania, łączącego cechy zarówno połączeń klejowych, jak i mechanicznych. Ideą stosowania połączeń hybrydowych jest uzyskanie efektu synergii zastosowanych rodzajów połączeń w jednym węźle konstrukcyjnym, wykorzystującym zalety połączeń składowych oraz jednocześnie ograniczających ich wady w przypadku, gdy stosowane są oddzielnie. Do najistotniejszych korzyści zastosowania połączeń hybrydowych należą m.in.: wzrost wytrzymałości i nośności połączenia w odniesieniu do połączeń składowych, zwiększenie sztywności struktury oraz trwałości zmęczeniowej czy występowanie dwuetapowego procesu niszczenia, co pozwala na wczesną identyfikację inicjacji uszkodzenia oraz zabezpieczenie połączenia przed zniszczeniem. Do najczęściej stosowanych połączeń klejowo-mechanicznych możemy zaliczyć obecnie połączenia klejowo-śrubowe, klejowo-nitowe, klejowo-klinczowe czy klejowo-zgrzewane. Wykonanie tego typu połączeń we współczesnych konstrukcjach lotniczych lub motoryzacyjnych wymaga zastosowania bardziej złożonej technologii wykonania połączenia w odniesieniu do połączeń klejowych czy mechanicznych oraz charakteryzuje się wyższą czasochłonnością i kosztownością. Jednakże ze względu na wspomniane zalety połączeń hybrydowych wykorzystanie tej technologii stanowi coraz bardziej zaawansowane rozwiązania łączenia elementów konstrukcyjnych o różnych właściwościach materiałowych, co potwierdza aktualność podjętej przez Autora problematyki badawczej.

Współczesnym narzędziem wspomagającym proces konstruowania są symulacje numeryczne, prowadzone na dyskretnych modelach konstrukcji. Zastosowanie analizy numerycznej w znacznym stopniu przyspiesza i upraszcza zagadnienie projektowe, umożliwiając jednocześnie prowadzenie bieżącej optymalizacji parametrów konstrukcyjnych układu. Istotne znaczenie mają również badania eksperymentalne, prowadzone na rzeczywistych obiektach lub ich podzespołach, pozwalające na dokonywanie bieżącej weryfikacji otrzymywanych wyników obliczeń numerycznych. Dlatego też temat i cel rozprawy postawiony przez Autora uważam za uzasadniony i interesujący z punktu widzenia naukowego oraz aplikacyjnego, ze względu na szerokie możliwości praktycznego wykorzystania otrzymanych wyników badań w projektowaniu współczesnych konstrukcji lotniczych czy motoryzacyjnych.

Praca zawiera łącznie 184 strony (włączając 4 strony pozostawione puste, zdaniem Autora celowo) i została podzielona na 6 rozdziałów. Treść pracy rozpoczyna się od wykazu ważniejszych skrótów i symboli oraz streszczenia w języku polskim i angielskim, po którym

Autor zamieścił 2-stronicowy wstęp obejmujący krótki opis rozwiązań konstrukcyjnych, w których stosowane są połączenia hybrydowe (klejowo-mechaniczne), dotyczące przede wszystkim konstrukcji lotniczych. W rozdziale I przedstawiono przegląd literatury, zawierający szeroki opis rodzajów i właściwości połączeń stosowanych w konstrukcjach lotniczych, a także materiałów i technologii wykorzystywanych przy wykonywaniu tych połączeń. W rozdziale II scharakteryzowano zagadnienie badawcze – analizę połączeń hybrydowych, wykonywanych w oparciu o dwie metody łączenia elementów: adhezyjną i z wykorzystaniem łączników mechanicznych. W dalszej części sformułowano szczegółowe cele pracy, hipotezę badawczą, jak również zdefiniowano zakres badań realizowanych w ramach rozprawy doktorskiej. Rozdział III dotyczy badań eksperymentalnych oraz obliczeń numerycznych połączeń hybrydowych klejowo-śrubowych - zawiera metodykę badań eksperymentalnych, opis przedmiotu badań (próbek połączeń zakładkowych), stanowiska badawczego, oraz wyniki badania nośności i trwałości zmęczeniowej połączeń hybrydowych. W dalszej części rozdziału opisano metodykę obliczeń numerycznych MES, charakterystykę opracowanych modeli obliczeniowych oraz wyniki przeprowadzonych obliczeń numerycznych z wykorzystaniem komercyjnego programu ANSYS Workbench. Rozdział IV zawiera rozszerzenie badań numeryczno-eksperymentalnych połączeń hybrydowych, z uwzględnieniem oceny wpływu zmiany właściwości warstwy adhezyjnej na rozkłady naprężeń w elementach połączenia. Badania przeprowadzono dla połączeń klejowo-śrubowych oraz klejowo-nitowych z uwzględnieniem różnych właściwości kleju oraz różnych typów łączników. W rozdziale V Autor przedstawił badania eksperymentalne dotyczące połączeń hybrydowych w zastosowaniu do łączenia elementów wykonanych z materiałów kompozytowych, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień dotyczących procesu uszkodzenia kompozytów strefach montażu łączników mechanicznych. W zakończeniu pracy, w rozdziale VI Autor przedstawił podsumowanie przeprowadzonych badań oraz sformułował wnioski końcowe, które zostały sformułowane w kilku zakresach: konstrukcyjnym i technologicznym, obliczeniowym oraz utylitarnym. Ponadto przedstawiono zakres kontynuacji badań z wykorzystaniem połączeń hybrydowych. Praca zawiera również spis literatury, obejmujący 158 pozycji bibliograficznych oraz spis rysunków i tabel.

Po lekturze przedstawionej do mojej oceny pracy, stwierdzam, że płk mgr inż. Jarosław Gąsior podjął się i rozwiązał trudne zadanie, polegające na przeprowadzeniu szczegółowej analizy nośności statycznej i trwałości zmęczeniowej połączeń hybrydowych klejowo-mechanicznych, stosowanych przede wszystkim w przemyśle lotniczym. Dodatkowo przeprowadzona została analiza parametrów konstrukcyjnych i technologicznych badanych

połączeń, umożliwiających wykazanie możliwości efektywnej modyfikacji parametrów połączenia w celu poprawy ich właściwości wytrzymałościowych i użytkowych. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły znaczący wpływ zaproponowanych przez Autora sposobów modyfikacji połączeń hybrydowych, skutkujących zwiększeniem nośności oraz trwałości zmęczeniowej układu. Doktorant z dużą starannością i konsekwencją przygotował i zrealizował plan badań, umożliwiających dokonanie wiarygodnej oceny stopnia wyęczenia oraz przyczyn zniszczenia badanych połączeń hybrydowych. Równoległa realizacja obliczeń numerycznych i badań doświadczalnych umożliwiła dokonywanie właściwej oceny otrzymywanych wyników.

Opisana w rozdziale III metodyka badań eksperymentalnych i numerycznych połączeń zakładkowych klejowo-śrubowych umożliwiła określenie nośności statycznej oraz trwałości zmęczeniowej tych połączeń. Doktorant z dużą starannością i świadomością przygotował próbki do badań eksperymentalnych, dbając o odpowiednie przygotowanie powierzchni łączonych elementów oraz zapewniając odpowiednią technologię wykonywania połączenia. Pozwoliło to na ocenę wpływu stanu przygotowania powierzchni (powierzchnie piaskowane i niepiaskowane) oraz długości zakładki połączenia (25mm i 50mm) na właściwości wytrzymałościowe oraz trwałość zmęczeniową badanych połączeń. Otrzymane wyniki dla połączeń hybrydowych zestawiono z wynikami odpowiednio połączeń klejowych oraz śrubowych, wykazując zalety połączenia hybrydowego w stosunku do podstawowych typów połączeń. Wykazano, że połączenia hybrydowe posiadają znacznie korzystniejsze właściwości wytrzymałościowe w przypadku zakładki dłuższej (w tym przypadku 50mm), przy czym proces piaskowania powierzchni w znaczący sposób podwyższał nośność statyczną połączenia, natomiast był zdecydowanie niekorzystny pod kątem trwałości zmęczeniowej połączenia. Zaproponowana przez Doktoranta modyfikacja parametrów połączenia, polegająca na zmianie odległości osi otworów łączników mechanicznych (śrub) z odległości $2d$ (gdzie d oznacza średnicę otworu) na $1d$ od krawędzi zakładki okazała się niezwykle efektywna, prowadząc do znaczącego wzrostu zarówno nośności połączenia (2-krotnie), jak i trwałości zmęczeniowej połączenia (4-krotnie). W dalszej części rozdziału Autor opisał założenia i metodykę prowadzonych obliczeń numerycznych z wykorzystaniem metody elementów skończonych. W mojej ocenie zarówno opis samej metody, jak również opracowanego modelu numerycznego jest mało kompletny i niezbyt precyzyjny. W opisie modelu brak jest m.in. informacji, w jaki sposób modelowano łącznik śrubowy z ruchomym pierścieniem – brak jest również wyników dotyczących zastosowania modelu tego typu łącznika. Doktorant dodatkowo przeprowadził badania wpływu typu siatki elementów skończonych na wyniki obliczeń numerycznych.

Mankamentem jest również sam opis modelu numerycznego, w którym nie ma żadnych informacji, jaki typ i rodzaj elementów skończonych został wykorzystany do dyskretyzacji badanego układu (rodzaj elementu skończonego, rząd przyjętej funkcji kształtu w elemencie, ilość węzłów oraz stopnie swobody w węźle elementu skończonego). Są to niezbędne informacje, umożliwiające czytelnikowi dokonanie właściwej oceny zastosowanej techniki modelowania przedmiotowego zagadnienia. Ponadto na rys. 3.13a prezentowana siatka elementów skończonych, określana przez Autora jako typ *tetra* jest również określeniem nieprecyzyjnym, gdyż na rysunku przedstawiona jest siatka typu nieregularnego, ale na pewno nie tetragonalnego. Brakuje również ilustracji pokazujących w bardziej szczegółowy sposób technikę zamodelowania poszczególnych obszarów modelu, zwłaszcza w okolicach łączników mechanicznych, co w konsekwencji utrudnia ocenę zastosowanego procesu dyskretyzacji całego modelu. Wątpliwości budzi również schemat przyjętych na rys. 3.14 i opisanych na str. 97 i 98 warunków brzegowych modelu numerycznego. Z opisu wynika, że łączniki śrubowe zostały obciążone naciskami montażowymi w postaci ściskania łba i pierścienia śruby – tak przynajmniej można to odczytać na podstawie zamieszczonego opisu. Jeśli faktycznie przyjęto ten sposób lokalnego obciążenia łączników mechanicznych, to zmienia to stan faktyczny obciążenia łącznika śrubowego, który w tym przypadku jest ściskany, a w połączeniu rzeczywistym rdzeń śruby jest rozciągany. Analizując wyniki przeprowadzonych symulacji numerycznych należy stwierdzić, że Doktorant przeprowadził analizę rozkładów naprężenia jedynie w warstwie adhezyjnej, pomijając zarówno wyężenie łączników mechanicznych (śrub), jak również elementów łączonych (blach), a w przedstawionych na rys. 3.9 schematach zniszczenia połączeń rzeczywistych wynika, że zniszczeniu ulegała nie tylko warstwa adhezyjna, ale również elementy łączone.

Zdecydowanie wyższy poziom analizy badanego zagadnienia Pan płk mgr inż. Jarosław Gąsior zaprezentował w rozdziałach IV i V. Przedstawione w tych rozdziałach badania numeryczno-eksperymentalne połączeń hybrydowych klejowo-śrubowych oraz klejowo-nitowych potwierdzają bardzo dobre przygotowanie Doktoranta do prowadzenia badań naukowych. W szczególności na wysoką ocenę zasługuje fakt starannego przygotowania stanowiska badawczego oraz układu pomiarowego, umożliwiającego rejestrację niezbędnych parametrów prowadzonych prób statycznych i zmęczeniowych. Na podkreślenie zasługuje również fakt wnikliwego opisu mechanizmów zniszczenia poszczególnych rodzajów połączeń. Podjęta w rozdziale IV próba określenia wpływu właściwości warstwy klejowej na dystrybucję naprężeń w analizowanych połączeniach dostarczyła bardzo istotnych informacji, dotyczących stopnia obciążenia poszczególnych elementów konstrukcyjnych badanych połączeń. Również

propozycja węzła naprawczego połączenia klejowo-nitowego wykazała dużą skuteczność w regeneracji uszkodzonego pokrycia konstrukcji cienkościennych. W tym przypadku w obliczeniach numerycznych Autor bardzo szczegółowo dokonał analizy rozkładów naprężenia we wszystkich elementach połączeń hybrydowych. Bardzo dobre przygotowanie Doktoranta do prowadzenia badań eksperymentalnych potwierdza również przeprowadzenie badań węzła naprawczego z połączeniem hybrydowym zlokalizowanego w konstrukcji belki ogonowej śmigłowca Mi-8. Potwierdza to umiejętność Pana płk mgr inż. Jarosława Gąsiora do aplikacji autorskich rozwiązań w tym zakresie w rzeczywistych rozwiązaniach konstrukcji lotniczych. Autor wykazał się umiejętnością diagnozowania problemów i ich właściwego rozwiązywania. Jest to umiejętność bardzo pożądana przy prowadzeniu badań naukowych. Potwierdzają to również wyniki badań zaprezentowane w rozdziale V dysertacji, w której zaproponowano połączenia hybrydowe klejowo-nitowe do łączenia elementów wykonanych z materiałów kompozytowych. Również w tych badaniach na podkreślenie zasługuje umiejętność Doktoranta w ocenie i interpretacji obszarów newralgicznych analizowanych połączeń, w szczególności uszkodzeń kompozytu w strefach montażu łączników mechanicznych. Autor umiejętnie zdiagnozował istniejące zagrożenia zniszczenia badanych połączeń, dobierając do tego celu prawidłową metodykę badawczą – w tym przypadku metodę tomografii komputerowej.

Wszystkie opisane powyżej atrybuty pracy pozwoliły na precyzyjne wykonanie zaplanowanych badań, umożliwiających ocenę nośności statycznej i trwałości zmęczeniowej poszczególnych wariantów konstrukcyjnych połączeń hybrydowych klejowo-mechanicznych. Autor opracował wyniki badań eksperymentalnych w formie adekwatnej do przeprowadzonych obliczeń numerycznych, co umożliwiło precyzyjne dokonanie ich porównania. Zaprezentowane rozważania mogą stanowić w przyszłości istotne źródło informacji w projektowaniu połączeń hybrydowych w nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcji lotniczych, które w coraz szerszym zakresie projektowane i wykonywane są z materiałów kompozytowych. Przeprowadzone w rozdziale V badania połączeń hybrydowych do łączenia elementów kompozytowych mogą zatem stanowić punkt wyjścia do dalszych badań Autora, zwłaszcza w odniesieniu do zagadnień inicjacji i rozwoju uszkodzeń w tego typu połączeniach. Potwierdza to również przedstawiony w rozdziale VI zakres kontynuacji badań z wykorzystaniem połączeń hybrydowych do aplikacji w nowoczesnych konstrukcjach lotniczych i motoryzacyjnych wykonanych z kompozytów.

W mojej ocenie rozdziały III ÷ VI stanowią oryginalny wkład Pana płk mgr inż. Jarosława Gąsiora oraz jego osiągnięcie w badaniach dotyczących zagadnień

modelowania numerycznego i badań eksperymentalnych połączeń hybrydowych klejowo-mechanicznych stosowanych przede wszystkim w cienkościennych konstrukcjach lotniczych. Przeprowadzone badania potwierdzają możliwość wykorzystania zaproponowanych rozwiązań połączeń hybrydowych w zastosowaniach praktycznych, jako rozwiązań konstrukcyjnych o korzystnych parametrach wytrzymałościowych i trwałości zmęczeniowej w odniesieniu do powszechnie stosowanych połączeń adhezyjnych i mechanicznych. Prezentowane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że Autor dysertacji posiada umiejętność prowadzenia badań naukowych oraz dokonywania ich właściwej oceny.

2. OCENA ROZPRAWY, PYTANIA I UWAGI KRYTYCZNE

Przedstawiona praca stanowi autorskie opracowanie Doktoranta w zakresie oceny wpływu istotnych parametrów konstrukcyjnych i technologicznych na możliwości efektywnej poprawy właściwości wytrzymałościowych i użytkowych połączeń hybrydowych klejowo-mechanicznych. Praca napisana jest bardzo poprawnie od strony merytorycznej i jest wartościowa. O wartości i oryginalności pracy stanowią przede wszystkim rozdziały III ÷ VI, w których przedstawiono autorską propozycję badań i modyfikacji połączeń hybrydowych z wykorzystaniem metod eksperymentalnych i numerycznych. Autor przeprowadził precyzyjnie przygotowane badania eksperymentalne oraz nieliniowe obliczenia numeryczne, dokonując prawidłowej oceny wpływu parametrów konstrukcyjnych i technologicznych badanego układu na nośność statyczną oraz trwałość zmęczeniową analizowanych połączeń. Na podkreślenie zasługują również starannie przeprowadzona analiza otrzymanych wyników oraz bardzo szczegółowo dokonana analiza procesów zniszczenia badanych połączeń. Pozwoliło to na opracowanie wiarygodnych wyników oraz sformułowanie poprawnych wniosków z przeprowadzonych badań.

Edycja pracy jest bardzo staranna, jednakże niektóre rysunki są mało szczegółowe, co utrudnia ich interpretację przez czytelnika – dotyczy to przede wszystkim rysunków dotyczących obliczeń numerycznych.

Płk mgr inż. Jarosław Gąsior posiada ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie projektowania i eksploatacji połączeń hybrydowych, zaplanowania i realizacji badań eksperymentalnych i nieliniowych obliczeń numerycznych oraz poprawnej interpretacji otrzymywanych wyników. Potrafi prawidłowo ocenić dokładność prowadzonych badań i ma

świadomość występujących w badaniach błędów. Uzyskane i zaprezentowane w pracy wyniki są wartościowe zarówno pod względem poznawczym, jak i użytkowym.

Lektura recenzowanej przeze mnie rozprawy doktorskiej prowadzi jednakże do pewnych uwag przedstawionych poniżej:

- 1) Na str. 15 we wstępie pracy napisano: „Najczęściej w montażu płatowców stosowano rozłączne połączenia mechaniczne, w tym nity i śruby” - połączenia nitowane błędnie zaliczono do połączeń rozłącznych (patrz rys.1.1 str 17: połączenia nierozłączne-pośrednie-nitowe).
- 2) Na str. 19 i 55 Autor używa określenia „elementy pierwszorzędowe” nie podając wyjaśnienia, co w tym przypadku określa jako pierwszorzędowe elementy konstrukcyjne. Analogicznie na str. 17 zostało użyte określenie „pierwszorzędowe struktury lotnicze”.
- 3) Na str. 21 w podrozdziale 1.1.1 oraz na rys 1.3 przypadek połączenia klejowego oznaczony jako (a) opisany jest jako typowy przypadek połączenia klejowego obciążonego na ścinanie. Nie jest to zgodne z rzeczywistością, ponieważ ze względu na ramię pary sił obciążających zakładka klejowa podlega zginaniu (zostało to również skomentowane w dalszej części tego podrozdziału).
- 4) Uwaga edycyjna - str. 43: błędnie napisano „ ... a dodatkowo zwiększenie **podatność** automatyzacji procesu montażu ...”. Powinno być: „ ... a dodatkowo zwiększenie **podatności** automatyzacji procesu montażu ...”.
- 5) Uwagi edycyjne - str. 47, 53, 57: brak podania źródła literaturowego dla rysunków odpowiednio: rys. 1.19, rys.1.25 i 1.26 oraz rys. 1.27.
- 6) Uwagi edycyjne - str. 80, 82, 94, 126, 127, 154, 155, 158: tytuły akapitów powinny być w jakiś sposób wyróżnione, np. boldem czy kursywą, gdyż edycyjne zlewają się z tekstem pracy.
- 7) Na str. 95 rys. 3.11(b) – należałoby wyjaśnić, w jaki sposób realizowano w modelu numerycznym mechanizm łącznika śrubowego z ruchomym pierścieniem (czy takie obliczenia były w ogóle realizowane, gdyż nie zamieszczono wyników tych obliczeń w pracy).
- 8) Na str. 98 na rys.3.14 oraz w opisie warunków brzegowych, jak wcześniej wspomniałem z zamieszczonych informacji wynika, że łączniki śrubowe poddane są ściskaniu. Proszę o wyjaśnienie zdefiniowanych warunków brzegowych dotyczących łączników śrubowych tego połączenia.

- 9) Na str. 100 na rys.3.16 prezentowane są wyniki porównania rozkładów naprężenia w modelu spoiny klejowej dla dwóch różnych typów siatek elementów skończonych: *heksa* i *tetra*. Poziomy naprężenia normalnych, prostopadłych do spoiny klejowej dla porównywanych modeli dyskretnych różnią się prawie 2-krotnie. Wobec braku w rozdziale III dokładnego opisu parametrów modelu obliczeniowego (np. czy rząd funkcji kształtu obydwu typów elementów skończonych był taki sam, itp.) proszę o skomentowanie tak wysokiej różnicy w otrzymanych wartościach naprężeń.
- 10) Uwaga edycyjna - str. 100: Autor użył określenia „... rozciąganie trzpienia śruby ...”. Poprawniej należałoby użyć „... rozciąganie rdzenia śruby...”.
- 11) Uwaga edycyjna - str. 125: podpis pod rys. 4.14: „Widok sposobu **zniszczenie** próbki”, powinno być „Widok sposobu **zniszczenia** próbki”.
- 12) W rozdziale 5.1.3 na rysunkach zamieszczono tekst w języku angielskim. Nie koresponduje to z ogólnym językiem pracy (praca napisana jest w języku polskim).
- 13) Nie znaleziono w tekście dysertacji cytowań następujących pozycji literaturowych: [9], [52], [70] oraz [86].

3. WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowana praca zawiera wartościowe wyniki badań i stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe Autora. Zauważone i wymienione w poprzednim punkcie pewne niedociągnięcia w niczym nie umniejszają jej wartości. Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie wniosków i uwag końcowych o charakterze zarówno poznawczym, jak i praktycznym. Ocenianą pracę postrzegam za wartościową pod względem naukowym oraz użytecznym.

Biorąc pod uwagę całość pracy tj. jej wartość poznawczą oraz wkład własny Autora stwierdzam, że rozprawa doktorska płk mgr. inż. Jarosława Gąsiora pt. " Analiza możliwości poprawy właściwości wytrzymałościowych i użytkowych połączeń hybrydowych stosowanych w lotnictwie", spełnia wymagania stawiane w ustawie z dnia 14 marca 2003r., wraz z późniejszymi zmianami, o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003r. Nr 65, poz. 595) w odniesieniu do prac doktorskich. Wnioskuje zatem o dopuszczenie dysertacji do publicznej obrony. Ponadto, ze względu na znaczący zakres przeprowadzonych badań oraz wysoki poziom naukowy i aplikacyjny prezentowanych wyników wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej przeze mnie rozprawy doktorskiej.

