

dr hab. inż. Sławomir Kciuk, prof. PŚ.
Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej
Politechnika Śląska

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
mgr. inż. Michała Ptaka

pod tytułem:

„ The impact of dynamic loads on transmission shafts of the civil aircraft”

Podstawa opracowania: Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna
Politechniki Wrocławskiej.

1. Ocena aktualności podjętej tematyki i założonego celu rozprawy

Postęp technologiczny jaki obserwujemy w obszarze przemysłu lotniczego, technik pomiarowych oraz sprzętu pomiarowego, wiąże się ściśle z gwałtownym wzrostem innowacyjności w zakresie inżynierii materiałowej, nowych technologii wytwarzania oraz ogólnie metod i narzędzi projektowania w tym metod i narzędzi doświadczalnej weryfikacji zaawansowanych modeli numerycznych. Zapotrzebowanie na wysoką jakość wyrobów, wysoką wytrzymałość zmęczeniową przy minimalizacji masy, konkurencyjność cenową, prowadzi do powstawania coraz bardziej złożonych i zaawansowanych systemów do projektowania, wytwarzania i diagnostyki komponentów/podzespołów pasażerskich statków powietrznych.

Zintegrowane metody projektowania, z zastosowaniem najnowszych osiągnięć inżynierii materiałowej, wsparte badaniami doświadczalnym i symulacjami numerycznymi, są dzisiaj standardową praktyką idącą ramię w ramię z procesami wytwórczymi. Takie podejście do wytwarzania przynosi zarówno korzyści wynikające z ochroną zdrowia ludzkiego ale również wymierne korzyści ekonomiczne, które stosunkowo szybko rekompensują poniesione na inwestycje nakłady.

Przedstawiona do recenzji dysertacja pt. "Vibration fatigue damage prediction under stochastic loading in the frequency domain" dotyczy istotnego ze względu na walory poznawcze jak i ze względu na aplikacje praktyczne zagadnienia - badanie wpływu losowego obciążenia dynamicznego na prognozowanie uszkodzeń zmęczeniowych wybranej klasy wałów

w układzie przeniesienia napędu, zwłaszcza w kontekście drgań, analizowanych w dziedzinie częstotliwości.

Drgania strukturalne, zwłaszcza te pod wpływem obciążeń losowych, mogą prowadzić do zmęczenia materiału, co z kolei może skutkować uszkodzeniem struktury. W kontekście recenzowanej rozprawy doktorskiej, autor analizuje różne aspekty tego zjawiska. Autor bada stochastyczne obciążenia dynamiczne. Takie obciążenia mogą wynikać z różnych czynników, takich jak zmienne warunki atmosferyczne, nierówności terenu, czy nawet nieregularności w strukturze maszyny. Badanie wpływu tych czynników na wytrzymałość materiału i prognozowanie uszkodzeń jest kluczowe dla poprawy projektów inżynierskich a przede wszystkim ze względu na bezpieczeństwo użytkownika i trwałość wyrobu.

Autor korzysta z analizy w dziedzinie częstotliwości do identyfikacji konkretnych składowych drgań, które wpływają na zjawiska zmęczenia materiału. W pracy, zastosowano różne metody matematyczne i numeryczne, takie jak metoda elementów skończonych czy analiza spektralna, aby dokładnie modelować i przewidywać zachowanie struktury pod wpływem losowych obciążeń dynamicznych.

W ramach doktoratu opracowano skuteczne narzędzia prognozowania uszkodzeń w strukturze typu wał przekładni – układu napędowego pod wpływem stochastycznych obciążeń dynamicznych, co ma zastosowanie przede wszystkim w lotnictwie ale również w innych, różnych dziedzinach inżynierii, w tym w projektowaniu maszyn, konstrukcji budowlanych czy innych obszarach, gdzie dynamiczne obciążenia są powszechne.

Opisywane i analizowane zagadnienia są specyficzne, ponieważ towarzyszą procesom zmęczeniowym wybranej klasy układów przeniesienia napędu w statkach powietrznych, gdzie zapewnienie wysokich parametrów wytrzymałościowych, eksploatacyjnych przekłada się na bezpieczeństwo pasażerów oraz długi czas bezawaryjnej eksploatacji statków powietrznych.

Biorąc powyższe pod uwagę, wybrany temat pracy doktorskiej uważam za aktualny zarówno pod względem naukowym, utylitarnym jak również pod względem zastosowania wyników badań w praktyce.

Tematyka pracy mieści się w zakresie dyscypliny inżynieria mechaniczna.

2. Przegląd treści pracy i osiągniętych rezultatów

Recenzowana praca została napisana na 175 stronach maszynopisu formatu A4; składa się z ośmiu rozdziałów oraz bibliografii, w skład której wchodzi 70 pozycji literaturowych w tym 5 współautorskich Pana mgr. inż. Michała Ptaka.

Na początku, od rozdziału drugiego przedstawiono analizę aktualnego stanu wiedzy oraz analizę metody obliczeniowych, modeli, algorytmów zaimplementowanych w komercyjnym oprogramowaniu stosowanym w firmie Collins Aerospace.

W ramach doktoratu opracowano autorskie algorytmy do szacowania wytrzymałości zmęczeniowej wału obciążonego siłami dynamicznymi i zweryfikowano ich poprawność z wynikami otrzymanymi na drodze symulacji w oprogramowaniu MSC CAE Fatigue.

Przeprowadzona analiza aktualnego stanu wiedzy w zakresie opisu zmiennych sygnałów w dziedzinie częstotliwości była bodźcem do opracowania nowej metody dokładnego wyznaczania parametrów sygnału na podstawie przebiegu z w dziedzinie częstotliwości w oparciu o zredukowane całkowanie momentów spektralnych. Unikatowe wyniki opublikowano w międzynarodowym czasopiśmie Probabilistic in Engineering.

W pracy przedstawiono zależność szacowanej liczbowo wytrzymałości zmęczeniowej materiału od obciążeń stochastycznych po transformacji funkcją Odwrotnej Transformacji Fouriera. Opracowano też algorytm obliczeniowy użycia powyższej zależności w konstruowaniu i obliczeniach wytrzymałości zmęczeniowej konstrukcji statków powietrznych. Opracowany algorytm będzie wdrożony w firmie Collins Aerospace Wrocław. Algorytm ten wykorzystuje odpowiedź układu w dziedzinie częstotliwości wyznaczoną z użyciem algorytmów dynamiki liniowej (metody superpozycji modalnej), Odwrotną Transformatę Fouriera oraz metodę Monte Carlo do przejścia z odpowiedzią układu do dziedziny czasu oraz metodę ang. Rainflow Cycle Counting w dziedzinie czasu analizy zmęczeniowej w dziedzinie czasu. Nowe zaproponowane podejście umożliwia dokładne określanie wytrzymałości zmęczeniowej na losowe wymuszenie dynamiczne. Metoda ta umożliwia wyznaczenie wartości średniej uszkodzeń (obecnie oprogramowania komercyjne np. MSC CAE Fatigue, nCode bazują na metodach: Dirlik, Lalanne, Steinberga, Narrow Band; które pozwalają na wyznaczenie tylko wartości średniej uszkodzeń) oraz rozkładu wytrzymałości zmęczeniowej od częstotliwości wymuszeń. Wyniki badań opublikowano w międzynarodowym czasopiśmie Probabilistic in Engineering.

W recenzowanej dysertacji w rozdziale 5. i 6. analizowano wytrzymałość zmęczeniową materiału przy założeniu złożonych obciążeń stochastyczno – deterministycznych. Na podstawie otrzymanych wyników symulacji numerycznych, wykazano że stosowane przez firmę Collins Aerospace oprogramowanie MSC CAE Fatigue znacząco przeszacowuje wartości wytrzymałości zmęczeniowej na wymuszenia losowe. Opracowano nową autorską metodę, która polega na wyznaczaniu wytrzymałości zmęczeniowej konstrukcji obciążonej losowymi siłami dynamicznymi poprzez połączenie obliczeń w dziedzinie czasu (sygnał deterministyczny) oraz obliczeń w dziedzinie częstotliwości (sygnał losowy) z zastosowaniem algorytmów jak dla dynamiki liniowej. Opracowana metoda bazuje na odpowiedzi układu wyznaczonej przy użyciu Metody Elementów Skończonych – metody superpozycji modalnej oraz Odwrotnej Transformacie Fouriera i metodzie Monte Carlo. Opracowana metoda pozwala na precyzyjne szacowanie wytrzymałości zmęczeniowej struktury obciążonej wymuszeniem stochastyczno – deterministycznym i wyznaczenie rozkładu uszkodzeń. Wyniki badań opublikowano w międzynarodowym czasopiśmie Acta Mechanica et Automatica.

W końcowej części rozprawy, dokonano analizy porównawczej istniejących metod obliczeniowych do szacowania wytrzymałości zmęczeniowej struktur obciążonych losowym wymuszeniem dynamicznym, tj. metod: Dirlika, Bendata, Lalanne, Steinberga. Badania wykazały, że najlepszą dokładnością wykazuje się metoda Dirlika (niemniej pozwala ona na szacowanie tylko wartości średniej uszkodzeń bez wyznaczenia rozkładu zniszczeń w wielu próbach). Weryfikacji metod dokonano przy użyciu metody Monte Carlo oraz Odwrotnej Transformaty Fouriera. Dla metody Bendata oraz Lalanne zaproponowano zmodyfikowany

opis empiryczny, który pozwala na szacowanie wytrzymałości zmęczeniowej ze zbliżoną dokładnością do metody Dirlika. Wyniki badań opublikowano częściowo w międzynarodowym czasopiśmie Probabilistic in Engineering.

Opracowane algorytmy i metody badawcze zostały zweryfikowane na przykładowym produkcie firmy Collins Aerospace Wrocław – wale napędowym systemu ang. High Lift. W pracy przedstawiono wyniki symulacji numerycznych w środowisku Abaqus, które porównano z wynikami symulacji numerycznych z zastosowaniem autorskich algorytmów do identyfikacji wytrzymałości zmęczeniowej wału obciążonego losowym wymuszeniem dynamicznym oraz złożonym losowo-deterministycznym.

3. Ocena pracy

Dysertacja o tytule „ The impact of dynamic loads on transmission shafts of the civil aircraft” stanowi dogłębne i istotne badanie, poświęcone analizie wpływu losowych obciążeń dynamicznych na wytrzymałość zmęczeniową wybranego typu wału mechanizmu napędowego skrzeli (slotów) i lotek kluczowych elementów w konstrukcji skrzydeł samolotów. Autor pracy podjął się zadania analizy i oceny wpływu losowych i zdeterminowanych dynamicznych obciążeń na wałki napędowe, co jest tematem kluczowym dla bezpieczeństwa oraz eksploatacji wybranego typu statków powietrznych.

Praca wyróżnia się solidnym podejściem teoretycznym, opartym na dogłębnej analizie istniejących teorii, modeli, algorytmów oraz najnowszych badań w dziedzinie inżynierii lotniczej, w zakresie związanym z tematem pracy Autor przeprowadził skomplikowane obliczenia, uwzględniając różnorodne przypadki dynamicznych obciążeń, jakie mogą występować w trakcie różnych faz lotu samolotów.

Warto zauważyć, że autor nie recenzowanej dysertacji nie ogranicza się jedynie do analizy teoretycznej, lecz również uwzględnia aspekty praktyczne. Eksperymentalne badania laboratoryjne oraz analizy numeryczne pozwalają na skonfrontowanie teorii z rzeczywistością. To podejście pozwala na bardziej kompleksowe zrozumienie reakcji wałków napędowych na dynamiczne obciążenia oraz dostarcza praktycznych wskazówek dla projektantów i inżynierów.

Jednym z kluczowych walorów tej dysertacji jest proponowanie konkretnych rozwiązań mających na celu precyzyjne zidentyfikowanie wytrzymałości zmęczeniowej wałów napędowych mechanizmu napędu wybranych elementów (skrzeli i lotek) skrzydeł samolotu obciążonych losowym lub zdeterminowanym bądź złożonym wymuszeniem. Autor identyfikuje potencjalne obszary i zakresy procesu projektowo konstrukcyjnego w których możliwa jest aplikacja wprost opracowanych autorskich algorytmów i metod obliczeniowych, co stanowi cenny wkład w rozwój tej gałęzi inżynierii.

Rozprawa jest starannie skonstruowana i logicznie uporządkowana. Autor prezentuje solidny przegląd literatury, uwzględniając najnowsze osiągnięcia w dziedzinie wytrzymałości zmęczeniowej, dynamiki układów liniowych, numerycznych metod obliczeniowych. Część teoretyczna jest oparta na solidnych podstawach naukowych i dobrze skorelowana z zaprezentowanymi wynikami badań numerycznych i.

Zastosowanie zaawansowanych technik analizy zjawisk dynamicznych w tym o charakterze losowym świadczy o rzetelnej podbudowie merytorycznej Pana mgr. inż. Michała Ptaka oraz dociekliwości poznawczej i dbałości o uzyskanie wiarygodnych wyników. Wyniki te są jasno i czytelnie zaprezentowane, a ich analiza upewnia mnie, że autor posiada głęboką wiedzę w analizowanym obszarze zagadnień.

Do oryginalnych osiągnięć Autora należy zaliczyć:

- algorytmy i metody obliczeniowe do identyfikacji wytrzymałości zmęczeniowej wybranego typu wału napędowego mechanizmu ruchu skrzeli i lotek obciążonych wymuszeniem losowym i zdeterminowanym,
- metoda identyfikacji parametrów sygnału w dziedzinie częstotliwości w oparciu o metodę elementów spektralnych,
- aplikacja (wdrożenie) opracowanych algorytmów i metod w komercyjnym środowisku Abaqus,
- wnikliwe studia literatury oraz wyniki symulacji numerycznych,
- analiza wyników badań numerycznych,

które uznaje za oryginalny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Przedstawiony w pracy problem badawczy jest kluczowy w projektowaniu, optymalizacji konstrukcji i eksploatacji wybranej klasy statków powietrznych. Wskazane powyżej zagadnienia oraz sposób ich analizy stanowią o dużej wartości merytorycznej i aplikacyjnej.

Lektura dysertacji nasuwa jednak pewne komentarze i uwagi krytyczne, częściowo dyskusyjne:

1. W pracy nie analizowano zmęczenia niskocyklowego wału systemu napędowego ruchu skrzeli i lotek, które można zaliczyć do mocno wyęźzonych elementów konstrukcji skrzydeł statków powietrznych.
2. Opracowane algorytmy i metody obliczeniowe mają ograniczenie aplikacyjne do jednego środowiska numerycznego.
3. Opracowane algorytmy i metody obliczeniowe dotyczą analizie wytrzymałości zmęczeniowej elementów konstrukcji zdefiniowanych jako materiał izotropowy.

Przedstawione uwagi i komentarze zostaną zapewne wyjaśnione, bądź skomentowane w trakcie publicznej obrony.

4. Ocena końcowa

Recenzowana dysertacja jest kompleksowym opracowaniem podjętego problemu badawczego identyfikacji wpływu obciążeń dynamicznych na wytrzymałość zmęczeniową wałów mechanizmów napędowych skrzeli i lotek – elementów konstrukcyjnych skrzydeł samolotów cywilnych, dobrze zorganizowana i dostarcza istotnych wyników i wniosków dla naukowców oraz przemysłu lotniczego. Autor wykazuje się zarówno dogłębną wiedzą teoretyczną, jak i umiejętnością praktycznego stosowania tej wiedzy. W rezultacie, praca zasługuje na pozytywną ocenę, uznając jej wkład w rozwój inżynierii mechanicznej oraz potencjał aplikacyjny w przemyśle lotniczym.

Oceniając przedstawioną rozprawę doktorską należy podkreślić wyjątkową aktualność analizowanej tematyki, zarówno z punktu widzenia produkcji jak i eksploatacji wybranej klasy statków powietrznych.

Pomimo moich uwag krytycznych, realizację postawionego zadania badawczego należy ocenić pozytywnie m.in. ze względu na:

- właściwe zdefiniowanie problemu badawczego,
- dobry sposób prezentacji wyników,
- udowodnione, dobre rozeznanie w wielu dziedzinach nauki,
- wymierne osiągnięcia teoretyczno-aplikacyjne, pozwalające na szereg spostrzeżeń i wyciągnięcie interesujących wniosków w przyszłości,
- wyniki badań numerycznych oraz ich analiza, które mogą być przydatne firmom produkującym elementy konstrukcji skrzydeł statków powietrznych jak również są nieocenioną bazą wiedzy w pracach standaryzujących.

Jednym z najważniejszych atutów rozprawy jest fakt, że podjęte badania, analizy wynikają bezpośrednio z rzeczywistych potrzeb przemysłu lotniczego.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest wartościowym pod względem merytorycznym opracowaniem naukowym wykazującym znaczący wkład Autora w rozwiązanie rozważanych w niej zagadnień. Wymienione w niniejszej recenzji uwagi oraz zauważone usterki nie zmieniają mojej pozytywnej opinii o pracy.

Podsumowując, dysertacja pt.: „The impact of dynamic loads on transmission shafts of the civil aircraft” stanowi obszerny, dogłębny i praktyczny wkład w dziedzinę inżynierii mechanicznej. Badania autora nie tylko poszerzają wiedzę naukową w tej dziedzinie, ale również mają potencjał praktycznego zastosowania.

Opracowane algorytmy i metody obliczeniowe oraz sposób realizacji badań numerycznych wraz z analizą wyników symulacji- numerycznych świadczą o właściwym przygotowaniu doktoranta do prowadzenia samodzielnej działalności naukowej i badawczej.

Recenzowana praca autorstwa Pana mgr. inż. Michała Ptaka spełnia wymogi odnośnie przewodu doktorskiego, określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku, z późniejszymi zmianami, o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Biorąc powyższe pod uwagę, wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.