

O C E N A

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Konrada Buczka

pt.: „Influence of Firing Order on Crankshaft Torsional Vibration in Four-stroke Engines” (Wpływ kolejności zapłonów w silnikach czterosuwowych na drgania skrętne wału korbowego)

1. Uwagi wstępne

Recenzję rozprawy wykonano na zlecenie Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej, pismo nr M.00-520-54/2021 Prodziekana Wydziału Mechanicznego prof. dr. hab. inż. Marka S. Kozienia z dnia 20.09.2021 r., do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej wraz z dokumentacją.

Recenzowana praca będąca przedmiotem rozprawy obejmuje 156 stron i składa się ze streszczenia w języku angielskim i polskim, wykazu oznaczeń, 10 rozdziałów oraz bibliografii obejmującej 65 pozycji. Praca została napisana w języku angielskim.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Władysław Mitianiec, prof. PK.

Promotorem pomocniczym rozprawy doktorskiej jest Dr.-Ing. Sven Lauer.

2. Ocena doboru tematu rozprawy

Tematyka Rozprawy doktorskiej mgr inż. Konrada Buczka koncentruje się na analizie wpływu zmiany kolejności zapłonów w typowych wielocylindrowych czterosuwowych silnikach przemysłowych na maksymalne naprężenia występujące w wale korbowym.

Oddziaływanie sił masowych oraz sił pochodzących od ciśnienia gazów w cylindrach silnika, jak również momentów od tych sił, w przypadku maszyn o działaniu cyklicznym, związane jest z występowaniem zmiennych naprężeń w wale korbowym oraz zmiennych obciążeń przenoszonych na fundament silnika. Wspomniane cykliczne oddziaływanie na elementy konstrukcyjne silnika oraz jego fundament powodują z jednej strony potencjalne organiczne żywotności mechanizmu korbowego, łożysk i układów pomocniczych silnika, a drugiej powodują drgania fundamentu silnika, jego potencjalne osłabienie i odkształcenie oraz generowanie dodatkowego hałasu. Bazowe metody obliczeń tych zagadnień powstały już na początku XX wieku, ich

użycie doprowadziło do powstania konstrukcji silników wielocylindrowych, które do niedawna uważano za optymalne ze względu na równomierność biegu, poziom wyrównoważenia dynamicznego oraz koszty wytwarzania. Jednak rosnące w ostatnich latach zainteresowanie przemysłowymi silnikami tłokowymi jako urządzeniami wspomagającymi wytwarzanie energii elektrycznej z biogazu, gazu ziemnego i gazów syntetycznych doprowadziło do radykalnego wzrostu średnich i maksymalnych ciśnień gazów w cylindrach jak również obciążeń cieplnych i mechanicznych silników. Dostępne obecnie możliwości obliczeniowe, poprzez zwiększenie szybkości pracy jednostek obliczeniowych, otworzyły nowe możliwości badania alternatywnych konfiguracji silników tłokowych, ze względu na kształty wykorbień i kolejności zapłonów. Nadal jednak liczba możliwych do testowania konfiguracji jest w przypadku wielocylindrowych silników tłokowych bardzo duża i optymalizacja wykorzystania zasobów obliczeniowych jest konieczna, np. na drodze wstępnej selekcji rozwiązań techniczne dopuszczalnych oraz wykorzystaniu metod uproszczonych.

Prezentowana praca wychodzi na przeciw tym oczekiwaniom, a Doktorant zaprezentował komplementarne i systemowe podejście do rozwiązania problemu selekcji konfiguracji kształtu wykorbień oraz porządku zapłonu dla zdanych kryteriów. Przy okazji przeprowadzonych badań symulacyjnych z użyciem stworzonego systemu zaobserwowana została prawidłowość co do powtarzalności części wyników analizy, co stało się ostatecznie motywem przewodnim pracy. Uważam, że mgr inż. Konrad Buczek podejmując w swojej rozprawie zagadnienie oceny wpływu kolejności zapłonów w silnikach czterosuwowych na poziom maksymalnych naprężeń w wale korbowym, wynikających z drań skrętnych wału, znakomicie wpisuje się w potrzeby specjalistów zajmujących się konstruowaniem silników spalinowych. Podjęty przez Doktoranta problem badawczy w rozprawie jest uzasadniony.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Zasadnicza treść rozprawy zawarta jest w 10 rozdziałach. Treść rozdziałów jest powiązana z tytułem rozprawy i stanowi jego rozwinięcie oraz odpowiada sformułowanemu celowi rozprawy.

W rozdziale 1 Autor przedstawia bazowe informacje nt. podjętego w pracy problemu badawczego odwołując się do licznych prac naukowych z tego zakresu, jednocześnie przedstawia uzasadnienie dla podjęcia przedmiotowego tematu.

W rozdziale 2 Autor przedstawia cel i zakres pracy, jednocześnie formułując tezę pracy, zgodnie z którą: „zmiana kolejności zapłonów na jakąkolwiek alternatywną realizowaną przez ten sam układ wykorbień wału korbowego ma wpływ jedynie na amplitudy harmonik połówkowych rzędów (np. 0,5; 1,5; 2,5; itd.) drgań wymuszonych całego systemu”.

Rozdział 3 zatytułowany „State of the art” zawiera uszczegółowiony przegląd stanu wiedzy, natomiast można zaobserwować, że ten fragment pracy zawiera w dużej

mierze usystematyzowany opis metody obliczeniowej, którą Doktorant będzie się posługiwał w dalszej części pracy.

Rozdział 4 zawiera wyniki własnych opracowań Doktoranta w zakresie liczby technicznie możliwych do wykorzystania konfiguracji kolejności zapłonów dla poszczególnych typów silników oraz przedstawia metodę generowania kolejnych wariantów kolejności zapłonów.

Rozdział 5 zawiera wyniki analiz Doktoranta w zakresie analogii między rozpatrywanymi konfiguracjami układów wykorbień z wytypowanymi kolejnościami zapłonów przy zamianie kierunku obrotów.

Rozdział 6 zawiera ramowy opis autorskiej metody selekcji konfiguracji kształtu wykorbień oraz porządku zapłonu dla zdanych kryteriów, która wykorzystywana jest w firmie FEV.

Rozdział 7 zawiera wyniki badań symulacyjnych Doktoranta w zakresie określenia wychyleń skrętnych mas układów korbowych i naprężeń w analizowanych odcinkach wałów dla typowych przemysłowych silników spalinowych. W rozdziale zawarto liczne porównania uzyskanych wyników z danymi literaturowymi.

Rozdział 8 zawiera analityczne wyjaśnienie powtarzalności części uzyskiwanych wyników, które jednocześnie odnosi się do postawionej w pracy tezy.

Rozdział 9 i 10 zawierają odpowiednio podsumowanie i wnioski.

Praca została napisana w sposób bardzo staranny pod względem językowym i edytorskim. Zawarte w pracy rysunki i schematy w większości przypadków są dobrej jakości i posiadają wyczerpujący opis.

4. Ocena rozprawy

Dokonując oceny rozprawy należy podkreślić, że jej ogólna forma i zakres podyktowane zostały realizacją celu i udowodnieniem tezy rozprawy.

Za główne osiągnięcia mgr inż. Konrada Buczka uważam:

1. Usystematyzowanie wiedzy w zakresie analitycznych metod określenia wychyleń skrętnych mas układów korbowych i naprężeń w analizowanych odcinkach wałów oraz opracowanie jednolitej metody obliczeniowej możliwej do zaadaptowania przy numerycznym rozwiązywaniu zagadnień.
2. Opracowanie metody i narzędzi obliczeniowych selekcji konfiguracji kształtu wykorbień oraz porządku zapłonów dla zdanych kryteriów.
3. Wykonie niezwykle szerokiej analizy wychyleń skrętnych mas układów korbowych i naprężeń w analizowanych odcinkach wałów dla typowych przemysłowych silników spalinowych, poprzedzonej selekcją rozwiązań technicznie realizowalnych.

4. Wyjaśnienie na drodze analitycznej zaobserwowanego zjawiska, że zmiana kolejności zapłonów na jakąkolwiek alternatywną realizowaną przez ten sam układ wykorbień wału korbowego ma wpływ jedynie na amplitudy naprężeń, w rozważanych odcinkach wału korbowego, wywołanych oddziaływaniem wymuszeń harmoniczných rzędów połówkowych.

Reasumując, uważam że omówiona konstrukcja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Konrada Buczka oraz sposób opracowania materiału badawczego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań są właściwe dla tego rodzaju prac. Doktorant wykazał się dużą wiedzą ogólną, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz opanowaniem metod analitycznych i numerycznych stosowanych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn (nadanie stopnia w dyscyplinie: inżynieria mechaniczna).

5. Pytania szczegółowe

1. Na rys. 3.10 Doktorant prezentuje wyniki analizy harmonicznej łącznego momentu wymuszenia pochodzącego od sił masowych i gazowych. Ze względu na fakt, że w tezie pracy pojawia się informacja o prowadzonych analizach wpływu poszczególnych harmoniczných wymuszenia na poziom wychyleń kątowych (drgań) mas układu korbowego czytelnik jest zainteresowany bardziej wnikliwą selekcją wymuszenia, w tym wypadku podziałem na wymuszenia od sił gazowych i oddzielnie od sił masowych. Na tym etapie analizy pracy, gdy nie jest jeszcze wyjaśnione zjawisko opisane w tezie można rozważać różne jego przyczyny, np. powiązanie harmoniczných rzędów pełnych z siłami masowymi, a harmoniczných rzędów połówkowych z siłami gazowymi. Informacja powyższa byłaby szczególnie wartościowa dla zobrazowania proporcji między tymi wymuszeniami we współczesnych silnikach przemysłowych.
2. Przedstawiona w rozdziale 6 metoda selekcji konfiguracji kształtu wykorbień oraz porządku zapłonów, dla zdanych kryteriów, jest zgodnie z informacją zawartą w pracy wykorzystywana w firmie FEV. W pracy brakuje jednoznacznych informacji jaka część prezentowanej metody oraz wykonanych narzędzi obliczeniowych jest autorstwa Doktoranta.
3. W rozdziale 7 Doktorant prezentując wyniki swoich analiz przedstawia amplitudy naprężeń w wybranych przez siebie odcinkach wału. Jakimi wytycznymi się kierowano oraz i przy użyciu jakich narzędzi typowano te odcinki?
4. Analiza wyników przedstawionych na wykresach w rozdziale 7 jest utrudniona ze względu na brak jednostek przy osi naprężeń. Wskazane byłoby określenie chociaż poziomów referencyjnych z innych porównywanych przypadków.

6. Wniosek końcowy oceny rozprawy

Na podstawie analizy przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej stwierdzam, że:

- Autor dokonał trafnego wyboru tematyki swojej pracy oraz poprawnie określił jej zakres,
- zasadnicze cele pracy zostały w pełni osiągnięte w zakresie przyjętym przez Doktoranta, bowiem uzasadnione zostały twierdzenia Autora ujęte w tezie pracy, a prezentowane wyniki są uzyskane w poprawnie przeprowadzonych studiach i eksperymentach i mogą służyć do dalszych prac,
- formalny układ pracy jest prawidłowy,
- dysertacja dobrze nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, a w niektórych elementach wnosi do nich nowe treści.

Powyższe fakty świadczą o dobrych kompetencjach Doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jego dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn (nadanie stopnia w dyscyplinie: inżynieria mechaniczna), w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą.

Stwierdzam zatem, że praca mgr inż. Konrada Buczka pt.: „Influence of Firing Order on Crankshaft Torsional Vibration in Four-stroke Engines” (Wpływ kolejności zapłonów w silnikach czterosuwowych na drgania skrętne wału korbowego) (promotor: dr hab. inż. Władysław Mitianiec, prof. PK; promotor pomocniczy: Dr.-Ing. Sven Lauer) spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, w rozumieniu ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowych oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku, a Autor może być dopuszczony do jej publicznej obrony.

Jednocześnie ze względu na bardzo wysoki poziom naukowy rozprawy i komplementarny charakter pracy wnoszę o jej wyróżnienie.

