



## RECENZJA

### **rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mariusza KUCZAJA zatytułowanej „Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych jednego stopnia przekładni zębatej na drugi w aspekcie jej stanu dynamicznego”**

#### **1. Podstawa recenzji**

Recenzje niniejszą opracowałem na zlecenie pana prof. dr. hab. inż. Mariana Dolipskiego. Dziekana Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej. Merytoryczną podstawę recenzji stanowi rozprawa doktorska mgr. inż. Mariusza Kuczaja pt.: „Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych jednego stopnia przekładni zębatej na drugi w aspekcie jej stanu dynamicznego”, zrealizowana pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Antoniego Skocia.

#### **2. Przedmiot rozprawy**

Merytoryczną treść rozprawy mgr inż. Mariusz Kuczaj ujął w 8 rozdziałach. Na podstawie analizy bibliografii dotyczącej dynamiki przekładni zębatach oraz licznych przykładów zastosowań przekładni wielostopniowych w maszynach górniczych uzasadnił konieczność przeanalizowania interakcji sił dynamicznych generowanych na poszczególnych stopniach przekładni wielostopniowej. Zagadnienie to nie jest uwzględniane w obliczeniach prowadzonych zgodnie z normą ISO-6336, w której zalecono traktowanie każdego stopnia jako izolowanej przekładni jednostopniowej. W tym kontekście uzasadnione jest sformułowanie celu naukowego pracy:

- analiza międzyzębnego obciążenia dynamicznego w aspekcie interakcji sąsiadujących stopni przekładni,

celu użytkowego:

- określenie wpływu parametrów konstrukcyjnych przekładni na obciążenie dynamiczne generowane na poszczególnych stopniach

oraz tezy pracy:

*„Stan dynamiczny wielostopniowej przekładni zębatej uzależniony jest od interakcji między stopniami sąsiadującymi. Dobór parametrów konstrukcyjnych przekładni determinuje transmitowanie energii drgań i współzależności między siłami dynamicznymi obciążającymi koła poszczególnych stopni”.*

Krytyczną analizę modeli przekładni zębatach jedno- i dwustopniowych opisanych w literaturze, zawarł doktorant w rozdziałach 4.1 i 4.2, natomiast w rozdziałach 4.3 i 4.4 następnym przedstawił autorski model dwustopniowej walcowej przekładni zębatej o zębach śrubowych. W odróżnieniu od dotychczas stosowanych modeli przekładni, Doktorant uwzględnił podatność skrętną i giętną wałów oraz podatność ich ułożyskowania. Zastosowany model fizyczny przekładni umożliwia uwzględnienie wpływu na obciążenie międzyzębne, nie tylko zmiennego momentu na wale wejściowym i wyjściowym, ale również wewnętrznych przyczyn występowania sił dynamicznych, takich jak: zmienna w czasie sztywność zazębienia oraz tłumienie drgań w zazębieniu, wymuszenie kinematyczne spowodowane luzem międzyzębnym, czy odchyłka kinematyczna współpracy zębów koła

i zębniaka. Model matematyczny rozpatrywanej przekładni ma postać 18 nieliniowych równań różniczkowych zwyczajnych drugiego rzędu. Zastosowany algorytm numerycznego rozwiązania równań opracowanego modelu doktorant omówił w rozdziale 5 pracy.

Problematyka doświadczalnej weryfikacji opracowanego modelu przekładni została przedstawiona w rozdziale 6. Sprawdzono zgodność wyników symulacji komputerowej z zależnościami teoretycznymi opisującymi siły międzyzębne przy zazębieniu ewolwentowym. Celem walidacji modelu, polegającej na wyznaczeniu wartości bezwymiarowych współczynników tłumienia, wykorzystano wyniki pomiarów wartości skutecznych przyspieszenia stycznych drgań skrętnych kół przekładni dwustopniowej.

Pozytywnie zweryfikowany model wykorzystano do przeprowadzenia symulacji komputerowych wykonanych celem określenia wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych dwustopniowej przekładni zębatej na jej stan dynamiczny w aspekcie interakcji międzystopniowej. Wyniki symulacji Doktorant przedstawia szczegółowo w rozdziale 7.

Najważniejsze wnioski z badań potwierdzające osiągnięcie zarówno celu naukowego jak i utylitarne oraz udowodnienie tezy pracy zawarł Doktorant w rozdziale 8.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Mariusza Kuczaja udokumentowana jest na 126 stronach wydruku komputerowego formatu A4. Spis literatury obejmuje 92 pozycje, w tym 32 w języku angielskim, 10 w niemieckim i 4 w rosyjskim.

### **3. Krytyczna ocena rozprawy**

Praca doktorska dotyczy nierozwiązanego jak dotąd zagadnienia interakcji pomiędzy wewnętrznymi siłami dynamicznymi generowanymi we współpracujących ze sobą stopniach przekładni zębatej. Jego rozwiązanie przyczyni się do precyzyjniejszego szacowania obciążenia dynamicznego, a w konsekwencji do poprawy trwałości i zmniejszenia masy przekładni. Jest to szczególnie istotne w odniesieniu do przekładni zębatych stosowanych w maszynach górniczych. W tym sensie rozprawa doktorska dotyczy dyscypliny naukowej górnictwo i geologia inżynierska, jakkolwiek jej wyniki mają znaczenie ogólniejsze.

Metodyka pracy badawczej przyjęta przez doktoranta polegała na opracowaniu modelu matematycznego dwustopniowej przekładni zębatej o zębach prostych. Budując model doktorant umiejętnie wykorzystał wcześniej opublikowane wyniki prac dotyczące doboru współczynników tłumienia oraz wyznaczania funkcji sztywności zazębienia zębów koła zębatego i zębniaka. Po przeprowadzeniu wstępnych symulacji zdecydował o zastosowaniu funkcji sztywności zazębienia uzyskanej na podstawie analizy modelu MES zębów koła i zębniaka.

Poprawność funkcjonowania modelu mgr inż. Mariusz Kuczaj potwierdził porównując wyniki symulacji komputerowej ze znanymi z literatury zależnościami teoretycznymi charakteryzującymi sumaryczną sumę międzyzębną. Walidację modelu przekładni przeprowadzono korzystając z wyników pomiarów drgań elementów przekładni zębatej dwustopniowej opublikowanych w pracy doktorskiej mgr inż. W. Zajlera, wykonanej w 1974 r. pod kierunkiem prof. dr hab. inż. L. Müllera w Politechnice Śląskiej. Umożliwiła ona wyznaczenie bezwymiarowych współczynników tłumienia poszczególnych stopni przekładni zębatej. Porównanie wyników pomiarów wartości skutecznych przyspieszenia obu stopni przekładni z wynikami symulacji świadczy, moim zdaniem, o dużej zgodności modelu z obiektem rzeczywistym.

Zakres doświadczalnej weryfikacji modelu przekładni uważam za wystarczający, tym niemniej publikując rozprawę doktorską należałoby podać więcej liczbowych parametrów

potwierdzających zgodność wyników symulacji komputerowej z wynikami pomiarów, niż uczynił to Doktorant w rozdziale 6.2 pracy.

Dowód tezy pracy mgr inż. Mariusz Kuczaj przeprowadził wykonując symulacje komputerowe obciążenia przekładni zębatej. Wyniki obliczeń, szczegółowo przedstawione w rozdziale 7 pracy, głównie w postaci wykresów współczynnika dynamicznego  $K_V$  w funkcji badanych parametrów przekładni, świadczą o dobrym opanowaniu warsztatu badawczego przez Doktoranta i starannym zaplanowaniu badań. Wnioski sformułowane przez Doktoranta są dobrze uzasadnione. Moim zdaniem, Jego najistotniejszym osiągnięciem poznawczym jest:

- wykazanie istotnego wpływu podatności skrętnej wałka pośredniego przekładni na interakcję obciążenia dynamicznego generowanego przez poszczególne stopnie przekładni,
- wykazanie istotnej różnicy pomiędzy zmiennością współczynnika dynamicznego  $K_V$  w paśmie rezonansowym dla przekładni dwustopniowej i dla izolowanych ekwiwalentnych przekładni jednostopniowych odpowiadających poszczególnym stopniom przekładni dwustopniowej.

Istotne znaczenie w praktyce projektowej będą miały wnioski dotyczące związku pomiędzy obciążeniem dynamicznym a wybranymi parametrami przekładni, takim jak: wskaźnik zazębienia na poszczególnych stopniach przekładni, iloraz zredukowanych momentów bezwładności kół współpracujących stopni, relacja pomiędzy sztywnością skrętną zazębienia a sztywnością skrętną wałka pośredniego.

Z obowiązku krytycznego oglądu recenzowanej pracy przedstawiam następujące pytania i uwagi dyskusyjne:

- Proszę o zdefiniowanie pojęć „akcja dynamiczna stopnia przekładni” i „reakcja dynamiczna stopnia przekładni”. Jak należy interpretować stwierdzenie (str 109), „... stopień przekładni pozostaje bez reakcji dynamicznej.”
- W jakim celu Doktorant dwukrotnie analizował wpływ ilorazu zredukowanych momentów bezwładności kół współpracujących stopni na współczynnik dynamiczny i prędkości krytyczne – przy stałej wartości zredukowanego momentu bezwładności kół na pierwszym stopniu oraz przy stałej wartości zredukowanego momentu bezwładności kół na drugim stopniu?
- Przy publikacji rozprawy uważam za wskazane powołanie się, przynajmniej na niektóre, wcześniejsze publikacje Doktoranta odnoszące się do zakresu pracy.

Pod względem edytorskim rozprawa opracowana jest na ogół starannie. Nieliczne zauważone usterki redakcyjne omówiłem szczegółowo z Doktorantem. Ponieważ nie wpływają one na czytelność pracy, to ich przytaczanie w recenzji uważam za niecelowe.

#### 4. Wniosek końcowy

Doktorant rozwiązał oryginalny problem naukowy z zakresu dynamiki przekładni zębatej wielostopniowej. Wykazał się przy tym dobrą znajomością zagadnień wchodzących w zakres dynamiki maszyn i dyscypliny naukowej górnictwo i geologia inżynierska. Przedstawiona powyżej analiza rozprawy doktorskiej pt.: „*Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych jednego stopnia przekładni zębatej na drugi w aspekcie jej stanu dynamicznego*”, autorstwa mgr. inż. Mariusza Kuczaja upoważnia mnie do stwierdzenia, iż spełnia ona wymagania Art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Wnoszę zatem o dopuszczenie Doktoranta do dalszego toku przewodu doktorskiego.

