

## STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

pt.

### **„Wpływ wybranych modyfikacji zastosowanych na drodze strefa zazębienia – korpus przekładni na drgania przekładni zębatej”**

Autor: mgr inż. Michał Juzek

Promotor: dr hab. inż. Grzegorz Wojnar, prof. PŚ

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Tomasz Haniszewski

Słowa kluczowe: drgania, przekładnia zębata, wibroaktywność, innowacyjne koła zębate, modyfikacja, łożyskowanie, redukcja, zmienne prędkości obrotowe.

Przekładnie zębate są powszechnie stosowane w układach przeniesienia napędu bardzo wielu środków transportu np. w pojazdach samochodowych, pojazdach szynowych, statkach powietrznych i środkach transportu wodnego, a także obiektach inżynierii lądowej. Szczegółowo przedstawiono to w rozdziale pierwszym.

Zagadnienia związane z ich wibroaktywnością w sposób istotny wpływają m.in. na komfort użytkowania urządzeń transportowych, a z pracą przekładni zębatych związane są drgania, których główne źródło stanowi strefa zazębienia. Drgania powstałe w tej strefie przekazywane są na: koła zębate, wały, ich łożyskowanie oraz korpus przekładni. Pobudzony w ten sposób korpus przekładni oddziałuje na najbliższe otoczenie i użytkowników środków transportu nie tylko poprzez drgania ale i związane z nimi hałas. W związku z powyższym w celu ograniczenia drgań i hałasu bardzo istotnym jest poszukiwanie możliwości ograniczenia przekazywania drgań już na odcinku pomiędzy strefą zazębienia a korpusem przekładni zębatej.

Przedstawiony w pracy przegląd literatury z tematyki wibroaktywności przekładni zębatych oraz analiza aktualnego stanu wiedzy wykazały, iż możliwości ograniczenia drgań pracującej przekładni poszukuje się głównie poprzez modyfikacje konstrukcji korpusów przekładni oraz próby opracowania alternatywnych w stosunku do zarysu ewolwentowego kształtu zębienia. Natomiast Autor niniejszej pracy poszukuje możliwości ograniczenia

przekazywania drgań już na odcinku pomiędzy strefą zazębienia a korpusem przekładni zębatej m. in. poprzez modyfikację budowy wewnętrznej koła zębatego. Z kolei na podstawie wykonanego przeglądu zgłoszeń patentowych o zasięgu europejskim i światowym stwierdzono że, podjęta tematyka jest aktualna, lecz przedstawione konstrukcje bardzo często obarczone są istotnymi ograniczeniami dotyczącymi ich zastosowania oraz wadami uniemożliwiającymi m.in. przenoszenie znacznych wartości momentu obrotowego.

Poszukując rozwiązania przedstawionego problemu autor niniejszej pracy wykonał wstępne badania doświadczalne walcowej przekładni kinematycznej z zastosowaniem jednego z kół mocowanego wahliwie na osi, której analizowano 24 pozycje względem wału koła napędzającego. Na podstawie tych badań nie odnotowano znaczącej redukcji wartości skutecznych przyspieszeń drgań zarówno wspomnianej osi przekładni jak i korpusu przekładni, a w niektórych przypadkach odnotowano wzrost wartości skutecznych przyspieszeń drgań wynoszący aż do 249%. Również analiza zmian sum amplitud sześciu pierwszych harmonicznnych częstotliwości zazębienia w funkcji położenia tej osi stałej nie skutkowała wyraźną redukcją wartości przyjętej miary  $\Sigma \text{ amp. } 1\div 6 \cdot f_z$  w stosunku do mocowania klasycznego koła zębatego na osi. Z powyższych powodów stwierdzono, że należy poszukiwać innego rozwiązania konstrukcyjnego umożliwiającego zredukowanie drgań na drodze strefa zazębienia - korpus przekładni.

W ramach realizacji niniejszej pracy doktorskiej opracowano innowacyjną konstrukcję koła zębatego, stanowiącą także przedmiot zgłoszenia patentowego złożonego do Urzędu Patentowego RP we wrześniu 2020 roku. Zaproponowana konstrukcja koła zębatego cechuje się rozdzieleniem wieńca zębatego od piasty koła oraz ich ponownym połączeniem z wykorzystaniem elementu charakteryzującego się niższym modułem Younga oraz wyższym współczynnikiem tłumienia niż materiał rodzimy koła i została szczegółowo przedstawiona w rozdziale piątym niniejszej rozprawy. Ponadto, w celu uzyskania dodatkowej możliwości ograniczenia przenoszenia drgań pomiędzy łożyskowaniem przekładni a jej korpusem, zaproponowano zastosowanie tulei wyposażonych również w elementy podatne, służących do osadzenia łożysk wałów w korpusie przekładni.

W ramach niniejszej rozprawy doktorskiej wykonano również badania doświadczalne polegające na ocenie wpływu zastosowania ww. modyfikacji klasycznej walcowej przekładni

zębatej na transmisję drgań ze strefy zazębienia do korpusu przekładni. Badania te podzielono na trzy etapy:

1. Badania kół zębatach (klasycznego i dzielonego - zaproponowanego przez autora) pobudzanych do drgań wraz z wałem przez wzbudnik.
2. Badania kół zębatach (klasycznego i dzielonego) oraz mocowania łożyskowania klasycznego i zmodyfikowanego przez autora pracy, zamontowanych w korpusie przekładni, przy zastosowaniu pobudzenia impulsowego młotkiem modalnym w wierzchołek zęba koła.
3. Badania kół zębatach (klasycznego i dzielonego) oraz mocowania łożyskowania klasycznego i zmodyfikowanego przez autora pracy w przypadku przekładni pracującej i przenoszącej obciążenie.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

1. W przypadku zastosowania wzbudnika do pobudzenia do drgań dzielonego koła zębatego osiągnięto co najmniej kilkunastoprocentowe zmniejszenie maksymalnej amplitudy modułu widmowej funkcji przejścia w miejscach oddziaływania wału na łożyska, niż w przypadku zastosowania koła zębatego klasycznego. Uzyskane redukcje, w zależności od analizowanego punktu przyszłej współpracy wału z łożyskiem oraz dla istotnego kierunku związanego z obwodową siłą międzyzębną, wynosiły 18 % i 14 %.
2. W przypadku punktów umieszczonych na korpusie i pokrywie korpusu przekładni wyposażonej w zaproponowane modyfikacje: koła zębatego oraz mocowania łożyskowania, odnotowano redukcję maksymalnej wartości widmowej funkcji przejścia na drodze głowa zęba koła – korpus przekładni wynoszącą blisko 50 % w stosunku do klasycznej przekładni niewyposażonej w wspomniane modyfikacje.
3. W przypadku przekładni pracującej ze zmieniającą się w czasie prędkością obrotową i stałym obciążeniem oraz zastosowania zaproponowanych modyfikacji koła zębatego i łożyskowania wyznaczono zakresy prędkości obrotowej, w których uzyskano redukcję drgań pracującej przekładni wynoszącą maksymalnie 55% w stosunku do klasycznej przekładni niewyposażonej w przywołane modyfikacje.
4. W przypadku przekładni pracującej z ustaloną prędkością obrotową i jednoczesnego zastosowania obu zaproponowanych modyfikacji koła zębatego oraz łożyskowania

i wartości momentu hamującego wynoszącej 144 Nm uzyskano redukcję wartości skutecznych przyspieszeń drgań wynoszącą 54% w stosunku do klasycznej przekładni niewyposażonej w wspomniane modyfikacje.