

WPŁYW UŻEBROWANIA KORPUSU PRZEKŁADNI ZĘBATEJ NA JEJ WIBROAKTYWNOŚĆ

Andrzej WILK¹
Piotr FOLEGA²
Tomasz FIGLUS³

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań numerycznych modeli korpusów przekładni zębatej. Na podstawie otrzymanych wyników eksperymentalnej analizy modalnej dostrojono opracowane modele MES przekładni. Ponadto w pracy wykonano numeryczne badania wpływu przyjętych rozwiązań uźebrowania górnej części korpusu na wibroaktywność przekładni zębatej z wykorzystaniem opracowanych modeli MES.

1. WPROWADZENIE

W układach przeniesienia napędu powszechnie stosowane są mechaniczne przekładnie zębate. Pracy tych układów towarzyszą zjawiska dynamiczne, które spowodowane są przyczynami wewnętrznymi lub zewnętrznymi [1], [2]. Pierwsze z nich związane są z konstrukcją i dokładnością wykonania kół zębatych oraz innych elementów przekładni, takich jak łożyska, wały i korpus. Natomiast zewnętrzne przyczyny to wymuszenia mechaniczne i akustyczne działające na przekładnię z zewnątrz. Powstałe w ten sposób drgania i przeciążenia dynamiczne wpływają na zmniejszenie żywotności przekładni oraz są źródłem hałasu przez nią generowanego. Głównym źródłem hałasu wytwarzanego przez

¹ prof. dr hab. inż. Andrzej Wilk – Wydział Transportu, Politechnika Śląska

² dr inż. Piotr Folega – Wydział Transportu, Politechnika Śląska

³ dr inż. Tomasz Figlus – Wydział Transportu, Politechnika Śląska

przekładnię jest jej korpus. Od jego kształtu oraz cech konstrukcyjnych zależy w dużym stopniu wibroaktywność przekładni.

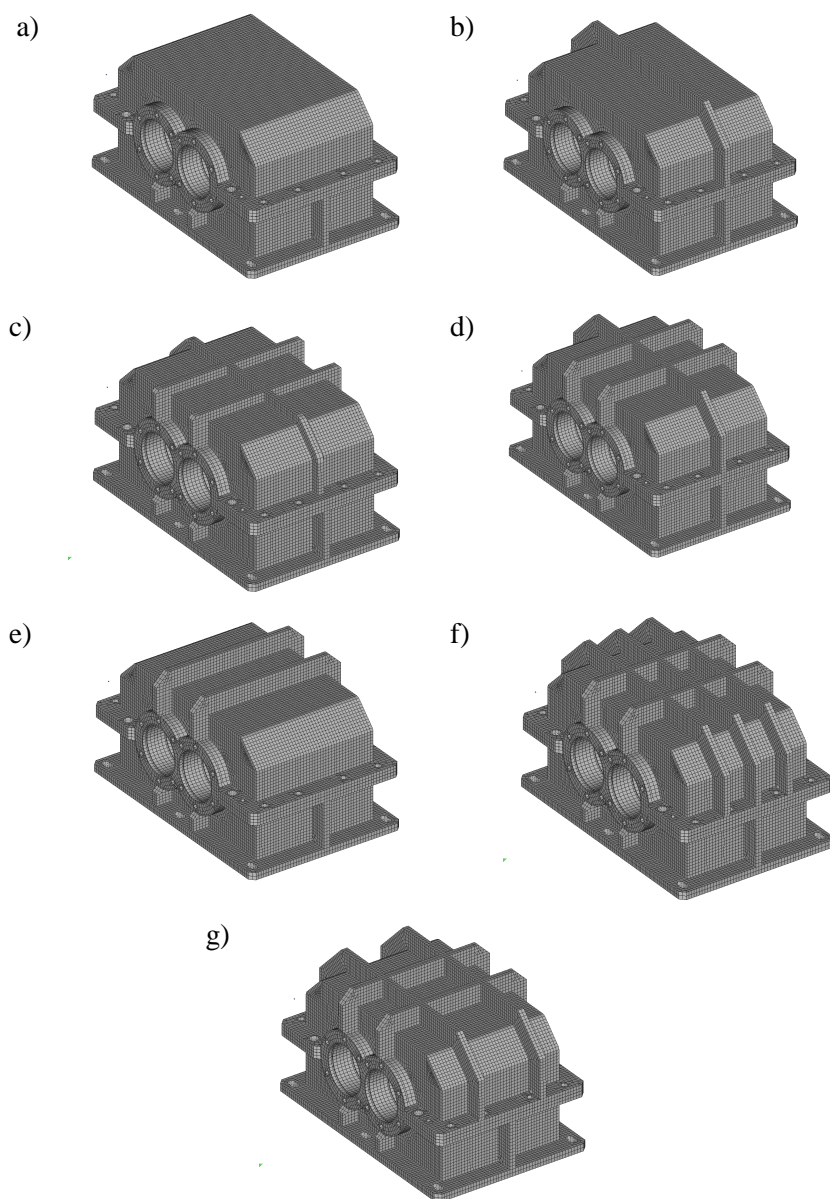
Minimalizacja aktywności wibroakustycznej przekładni zębatych wymaga analizy mechanizmu powstawania sił dynamicznych w zazębieniu wywołujących drgania, transmisji tych drgań do miejsca wypromieniowania oraz zagadnień związanych z promieniowaniem dźwięku przez korpus. Wynika z tego, że istnieje kilka sposobów zmniejszania emisji hałasu przekładni polegających na minimalizacji: drgań w strefie zazębienia, efektywności transmisji drgań i dźwięku materiałowego oraz efektywności promieniowania korpusu.

W celu realizacji przyjętych badań polegających na poszukiwaniu modelu umożliwiającego rozpoznanie warunków minimalizacji hałasu i drgań generowanych przez przekładnię zębatą, zaprojektowano i wykonano jednostopniową przekładnię zębatą z kołami o zębach skośnych lub prostych. Do opisu dynamicznego zaproponowanych rozwiązań konstrukcyjnych korpusów wykorzystano opracowane modele numeryczne z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES), stosując oprogramowanie MSC Patran/Nastran. Modele MES dostrojono poprzez wykonanie eksperymentalnej analizy modalnej rzeczywistych przekładni. W artykule przedstawiono badania numeryczne wpływu uźebrowania górnej części korpusu na wibroaktywność przekładni z wykorzystaniem opracowanych modeli MES.

2. MODELOWANIE PRZEKŁADNI ZĘBATEJ

W badaniach wykonanych w ramach opracowania wykorzystano przyjęte rozwiązania konstrukcyjne korpusu przekładni zębatej (korpusy od A do G). Zaprojektowane korpusy są dzielone w płaszczyźnie osi kół oraz zostały wykonane z pospawanych blach stalowych o grubości 6mm. Przyjęte rozwiązania korpusów zamodelowano z wykorzystaniem MES tworząc ich modele numeryczne (rys. 1).

Dyskretyzacji modeli dokonano przy pomocy 8 węzłowych elementów typu solid. W modelach uwzględniono łączniki gwintowe do połączenia górnej i dolnej części korpusu oraz zamodelowano kontakt pomiędzy tymi częściami z uwzględnieniem środka uszczelniającego (pasty silikonowej).

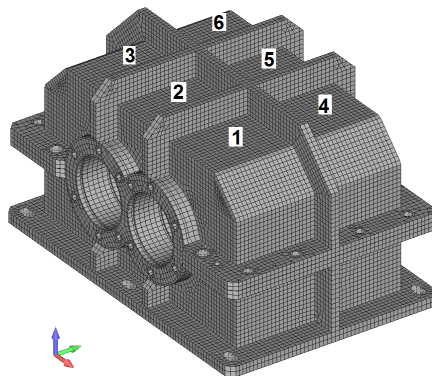


Rys. 1. Opracowane modele MES: a) korpus A, b) korpus B, c) korpus C – zmniejszenie wysokości żeber, d) korpus D, e) korpus E, f) korpus F, g) korpus G.

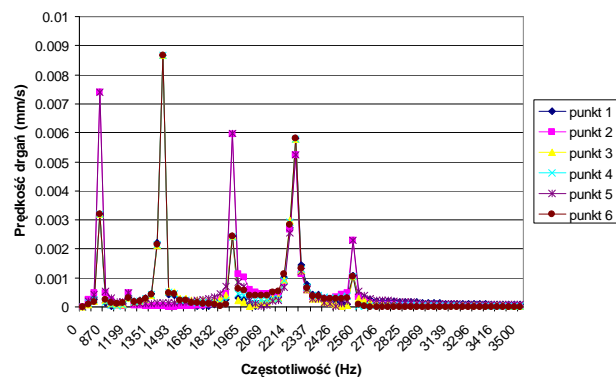
3. WPŁYW UŻEBROWANIA KORPUSU NA WIBROAKTYWNOŚĆ PRZEKŁADNI

W pracach [3], [4] przeprowadzono eksperymentalną oraz teoretyczną analizę modalną wybranych rozwiązań konstrukcyjnych korpusów analizowanej przekładni (korpus A, D, E). Wykonana eksperymentalna analiza modalna różnych wersji korpusu pozwoliła na ocenę wpływu przeprowadzonych modyfikacji na postacie i częstotliwości jego drgań własnych. Wyniki badań pozwoliły określić stopień zgodności parametrów modalnych MES z parametrami obiektów rzeczywistych poprzez wyznaczenie wartości współczynnika MAC (Modal Assurance Criterion), którego wartości dla poszczególnych postaci drgań pozwoliły ocenić poprawność opracowanych modeli MES. Na podstawie otrzymanych wyników eksperymentalnej analizy modalnej dostosowano modele numeryczne korpusów. Uzyskana zgodność wyników eksperymentalnej i teoretycznej analizy modalnej analizowanych rozwiązań korpusów pozwoliła stwierdzić poprawność opracowanych modeli MES [3], [4].

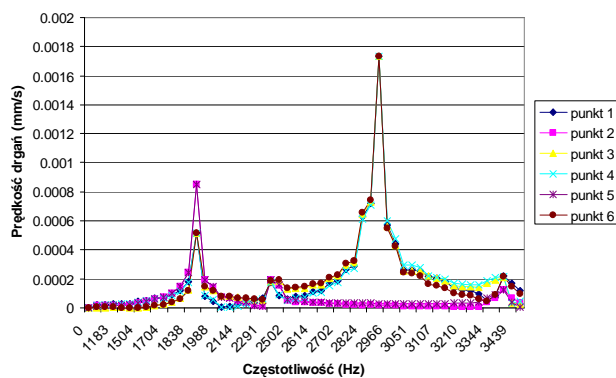
W artykule przeprowadzono badania numeryczne wpływu uźebrowania górnej części korpusu na wibroaktywność przekładni z wykorzystaniem dostosowanych modeli MES dla wszystkich przyjętych rozwiązań uźebrowania korpusu (rys. 1). W wykonanych obliczeniach zastosowano wymuszenie impulsem jednostkowym w punkcie 1 pokazanym na rysunku 2. Z wykorzystaniem oprogramowania MSC Nastran wyznaczono wartości prędkości i przyspieszenia drgań w sześciu dobranych punktach pomiarowych (rys. 2). Przykładowe wyniki obliczeń numerycznych przedstawiono na rysunkach od 3 do 7.



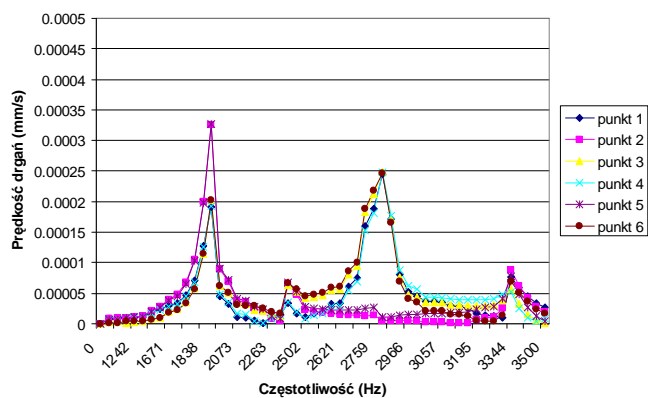
Rys. 2. Położenie punktów pomiarowych.



Rys. 3. Widmo prędkości drgań – korpus A.



Rys. 4. Widmo prędkości drgań – korpus D.



Rys. 5. Widmo prędkości drgań – korpus G.

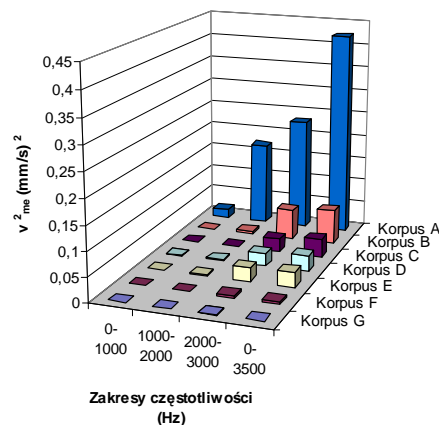
Analizując otrzymane wyniki obliczeń przedstawione na rysunkach od 3 do 5 można stwierdzić znaczny wpływ dodatkowego uźebrowania na obniżenie wibroaktywności korpusu przekładni. Wykonanie uźebrowania górnej części korpusu (korpusy od B do G) pozwoliło na istotne obniżenie wartości prędkości drgań w analizowanym zakresie częstotliwości (rys. 4 i 5). Znaczne zmniejszenie wartości amplitud prędkości drgań w zakresie do 3,5 kHz otrzymano poprzez jednoczesne zastosowanie dwóch dodatkowych usztywniających żeber równoległych oraz prostopadłych do osi wałów. Jako miarę wibroaktywności korpusów przyjęto wielkość określoną zależnością [2]:

$$v_{me}^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=k}^l (v_i \cdot (f_j))^2 \quad (1)$$

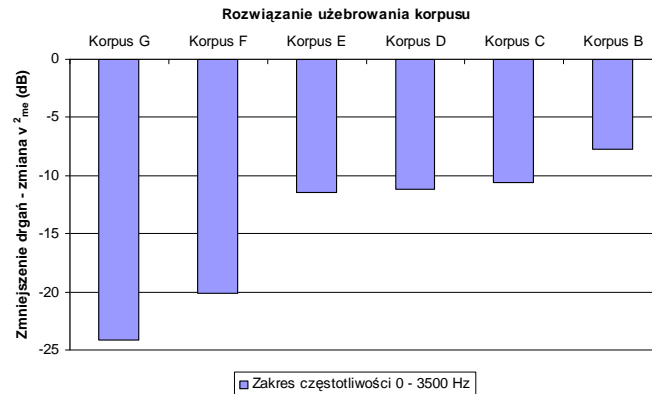
gdzie:

n – liczba przyjętych punktów pomiarowych,
k – dolny zakres analizowanej częstotliwości,
l – górny zakres analizowanej częstotliwości,
v – prędkość drgań,
f – częstotliwość drgań.

Na rysunku 6 przedstawiono wartości średniej wartości energii prędkości drgań (wzór 1) dla przyjętych punktów pomiarowych w wybranych 4 zakresach częstotliwości, a na rysunku 7 w całym analizowanym zakresie częstotliwości (0 – 3500 Hz). Zmiany wartości zaproponowanej miary pokazane na rysunku 7 zostały przedstawione w dB w odniesieniu do korpusu przed modyfikacją (korpus A).



Rys. 6. Wyznaczone wartości v_{me}^2 w przyjętych zakresach częstotliwości.



Rys. 7. Zmiany wartości v_{me}^2 w zależności od rozwiązania uźebrowania korpusu w odniesieniu do korpusu A w całym przyjętym zakresie częstotliwości przedstawione w dB.

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wyniki badań numerycznych modeli korpusów przekładni zębatej. Na podstawie otrzymanych wyników eksperymentalnej analizy modalnej dostrojono modele MES korpusów uzyskując zgodność uzyskanych wyników z badaniami eksperymentalnymi [4]. Przedstawione w opracowaniu wyniki (rys. od 3 do 7) potwierdzają istotny wpływ dodatkowego uźebrowania korpusów przekładni na generowane przez nią drgania. Znaczące zmniejszenie wartości zaproponowanej miary (rys. 6 i 7) otrzymano poprzez jednoczesne zastosowanie dwóch dodatkowych usztywniających żeber równoległych oraz prostopadłych do osi wałów.

W kolejnych badaniach zostaną przeprowadzone analizy wpływu cech konstrukcyjnych i zużycia elementów na wibroaktywność układów napędowych z przekładniami zębatymi przy wykorzystaniu opracowanych modeli numerycznych MES różnych rozwiązań konstrukcyjnych ich korpusów. W badaniach do wyznaczenia wartości sił łożyskowych zostanie wykorzystany opracowany model dynamiczny przekładni pracującej na stanowisku do badań przekładni zębatych w układzie mocy krążącej [1].

LITERATURA

- [1] Łazarz B.: Zidentyfikowany model dynamiczny przekładni zębatej jako podstawa projektowania, Monograficzna Seria Wydawnicza Biblioteka Problemów Eksploatacji - Studia i Rozprawy, Katowice – Radom, 2001.
- [2] Müller L.: Przekładnie zębate - projektowanie, WNT, Warszawa, 1996.
- [3] Madej H.: Minimalizacja aktywności wibroakustycznej korpusów przekład-

ni zębnych, Monograficzna Seria Wydawnicza Biblioteka Problemów Eksploatacji - Studia i Rozprawy, Katowice – Radom, 2003.

- [4] Figlus T., Wilk A., Madej H., Folega P.: Zastosowanie analizy modalnej w identyfikacji modelu numerycznego przekładni zębatej, XVI Konferencja Metody i Środki Projektowania Wspomagane Komputerowo, październik 2007, Warszawa – Nałęczów.

THE INFLUENCE OF HOUSING RIBBING FOR GEAR VIBROACTIVITY

SUMMARY

The paper presents the simulation research results of the numerical models of gear housing. The numerical simulations have been confirmed by comparison with results by experimental modal analysis. The method of structural modification of the design based on FEM models allows evaluating the effect of different design changes upon the vibroactivity of the gear housings.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2009 jako projekt badawczy.