

ANALIZA MES WYTRZYMAŁOŚCI ELEMENTÓW POMPY ŁOPATKOWEJ PODWÓJNEGO DZIAŁANIA

STRENGTH ANALYSIS OF ELEMENTS OF DOUBLE ACTING VANE PUMP USING FEM METHOD

Wiesław Fiebig, Piotr Cependa – Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn. Politechnika Wrocławska

W artykule przedstawiono obliczenia wytrzymałościowe elementów mechatronicznej pompy łopatkowej, która jest zabudowana w wirniku silnika elektrycznego. Zaprezentowano podstawowe cechy konstrukcyjne nowego rozwiązania pompy łopatkowej i przedstawiono wyniki obliczeń wytrzymałościowych MES podstawowych jej elementów. W obliczeniach uwzględniono obciążenia pochodzące od ciśnienia hydrostatycznego oraz siły reakcji działające na elementy pompy.

The paper presents FEM analysis of the vane pump integrated with an electrical motor. The new design of a mechatronic pump is presented. Calculations of strength and deformations of pump elements were made for three main elements: vane, rotor and cam ring. Dynamic loads as well as loads from hydrostatic pressure were considered.

Wstęp

Pompy łopatkowe należą do grupy pomp wyporowych, w których elementem tłoczącym są łopatki umieszczone promieniowo w wirniku. Pompy łopatkowe można podzielić na dwa podstawowe rodzaje. Pierwszym są pompy pojedynczego działania, w których wirnik jest umieszczony mimośrodowo w stosunku do okrągłej bieżni. Dzięki takiej konstrukcji wydajność tych pomp może być zmieniana poprzez nastawę mimośrodu wirnika i bieżni. Drugim rodzajem są pompy podwójnego działania i stałej wydajności. Cykl tłoczenia następuje w nich dwukrotnie na pełen obrót wirnika. Na rysunku 1 przedstawiono schematy pomp pojedynczego i podwójnego działania.

Model pompy łopatkowej

W ramach projektu pt. „Opracowanie innowacyjnych rozwiązań wysokociśnieniowych pomp łopatkowych ze zintegrowanym mechatronicznym napędem elektrycznym” realizowanym w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn i finansowanym z Narodowego Centrum Badan i Rozwoju zaprojektowano pompę łopatkową przeznaczoną do wbudowania wewnątrz wirnika silnika elektrycznego.

Zintegrowana z silnikiem pompa łopatkowa charakteryzuje się odmienną konstrukcją w porównaniu do rozwiązań standardowych. Jej obudowa będzie obracać się wraz z wirnikiem silnika, a dotychczasowy wirnik wraz z łopatkami pozostanie

nieruchomy. Do napędu użyto silnika bezszczotkowego prądu stałego z magnesami trwałymi – BLDC. Model CAD pompy znajduje się na rysunkach 2 oraz 3.

Ponieważ element wewnętrzny pompy z łopatkami się nie obraca, nie powstaje, jak w rozwiązaniu konwencjonalnym, siła odśrodkowa działająca na łopatki, powodująca ich docisk do bieżni dla zapewnienia szczelności. W omawianym rozwiązaniu siłę tę zastąpiono wprowadzając sprężyny pod łopatki. Para cierna łopatka-wirnik charakteryzuje się bardzo dużą dokładnością wykonania – luz w granicach 0,007 do 0,015 mm. Należy zwrócić uwagę, na możliwość zaklinowania łopatki w wirniku, a w konsekwencji uszkodzenia pompy.

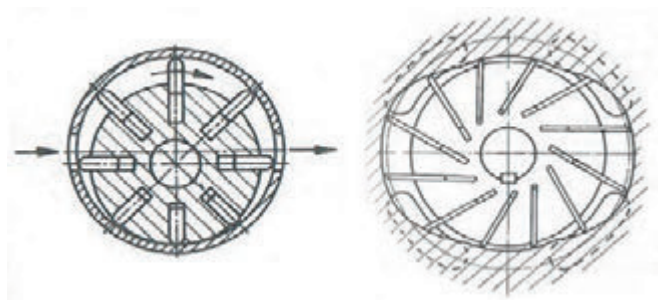
Przedstawiona konstrukcja posiada wiele zalet m.in. znaczne zmniejszenia masy układu silnik-pompa. Dodatkowo przewiduje się zmniejszenie hałasu generowanego przez urządzenie w porównaniu do rozwiązania standardowego, ponieważ główne źródło hałasu – pompa hydrauliczna, będzie umieszczona wewnątrz silnika elektrycznego.

Silniki BLDC charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami dynamicznymi, a ich prędkości obrotowe mogą być precyzyjnie sterowane. Dzięki temu istnieje możliwość sterowania wydajnością pompy bezpośrednio poprzez zmianę prędkości obrotowej. Upraszcza to w znaczny sposób hydrauliczny układ sterowania i pozwala na eliminację drogich zaworów proporcjonalnych czy serwozaworów jak również dopasowania wymaganej mocy hydraulicznej odbiornika do mocy silnika elektrycznego.

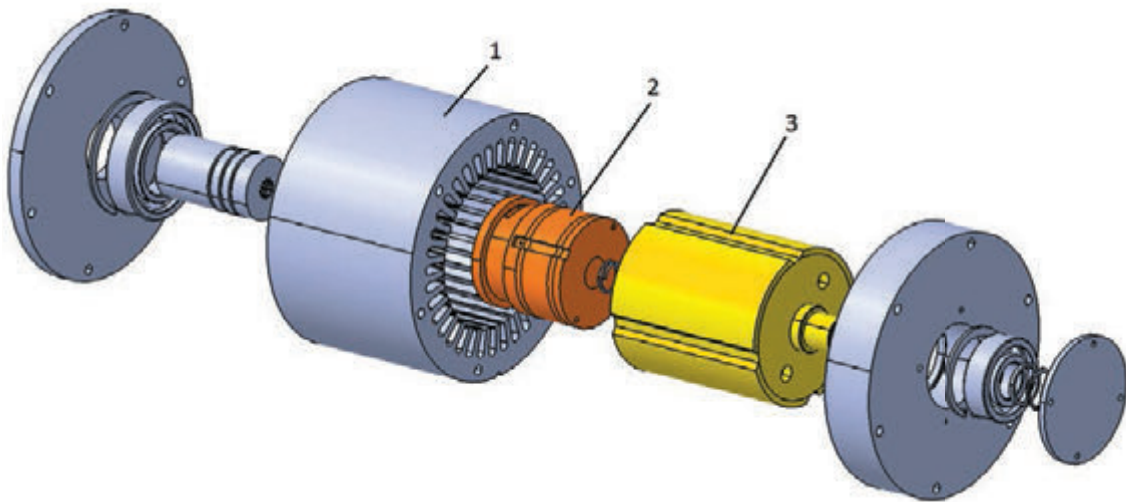
Zespół silnik-pompa ma posiadać moc ok. 2,5 kW. Maksymalne ciśnienie w pompie będzie wynosić 16 MPa. Moment generowany przez silnik elektryczny wynosi ok. 7 Nm.

Obliczenia wytrzymałościowe metodą elementów skończonych (MES)

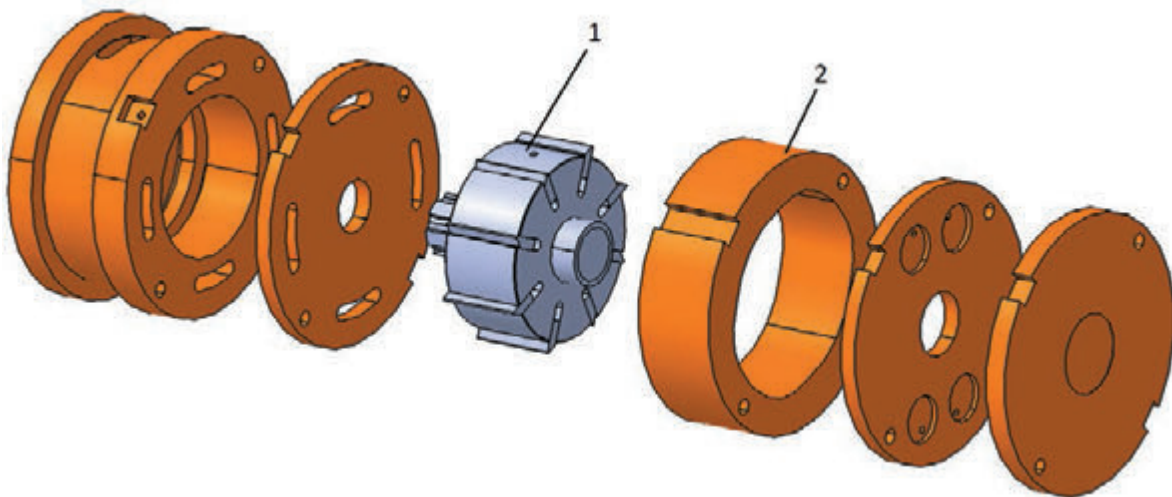
W pracy przedstawiono obliczenia wytrzymałościowe MES dla trzech kluczowych elementów pompy łopatkowej tj. wirnika, łopatek oraz bieżni. Do modelowania pompy łopatkowej wykorzystano objętościowe elementy typu heksagonalnego i tetragonalnego. Siatka jest równomierna i składa się głów-



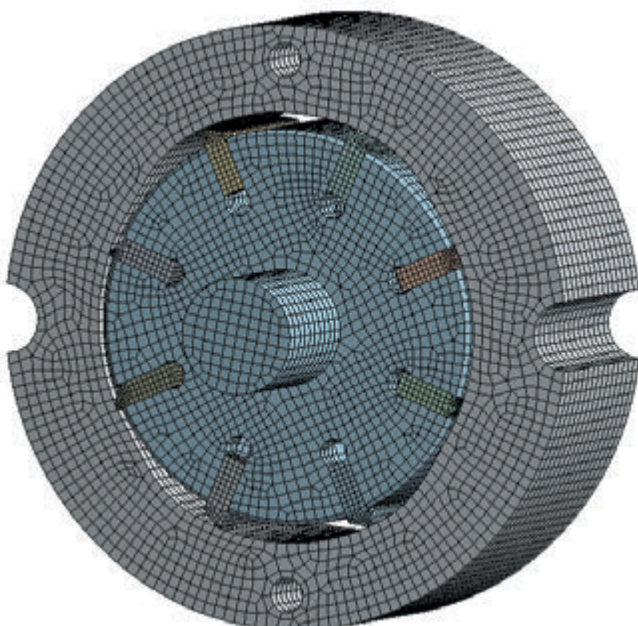
Rys. 1. Schematy pomp pojedynczego i podwójnego działania



Rys. 2. Zespół silnik-pompa: 1 – Stojan silnika BLDC, 2 – pompa łopatkowa, 3 – wirnik silnika BLDC



Rys. 3. Zespół pompy łopatkowej: 1 – element wewnętrzny z łopatkami, 2 – bieżnia



Rys. 4. Model MES pompy łopatkowej

nie z elementów wyższego rzędu. Została ona zagęszczona na końcach łopatek aby zamodelować dokładniej ich kształt. Na rysunku 4 przedstawiono model MES pompy łopatkowej składający się z ponad 300 tys. elementów.

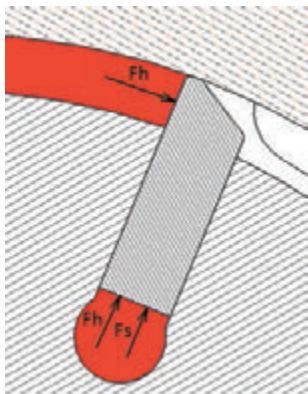
Głównymi obciążeniami w pompie są obciążenia pochodzące od ciśnienia hydrostatycznego. Maksymalne ciśnienie generowane przez pompę wynosi 160 bar. Na rysunkach 5 oraz 6 przedstawiono schematycznie siły pochodzące od ciśnienia działające na elementy pompy oraz zaznaczono siłę dociskową sprężyn, działającą od dołu łopatki.

Obciążenia krytyczne występują w obszarach przesterowania tj. w momencie przechodzenia łopatki ze strefy o niskim ciśnieniu do strefy o wysokim ciśnieniu i na odwrót.

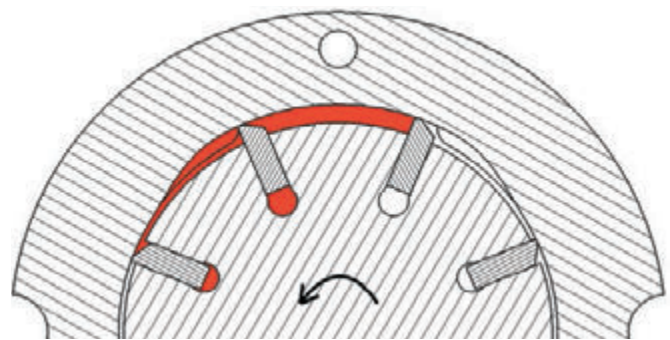
Ciśnienie generowane przez pompę powoduje rozciąganie bieżni, po której przesuwają się łopatki oraz zginanie łopatek.

Wyniki symulacji

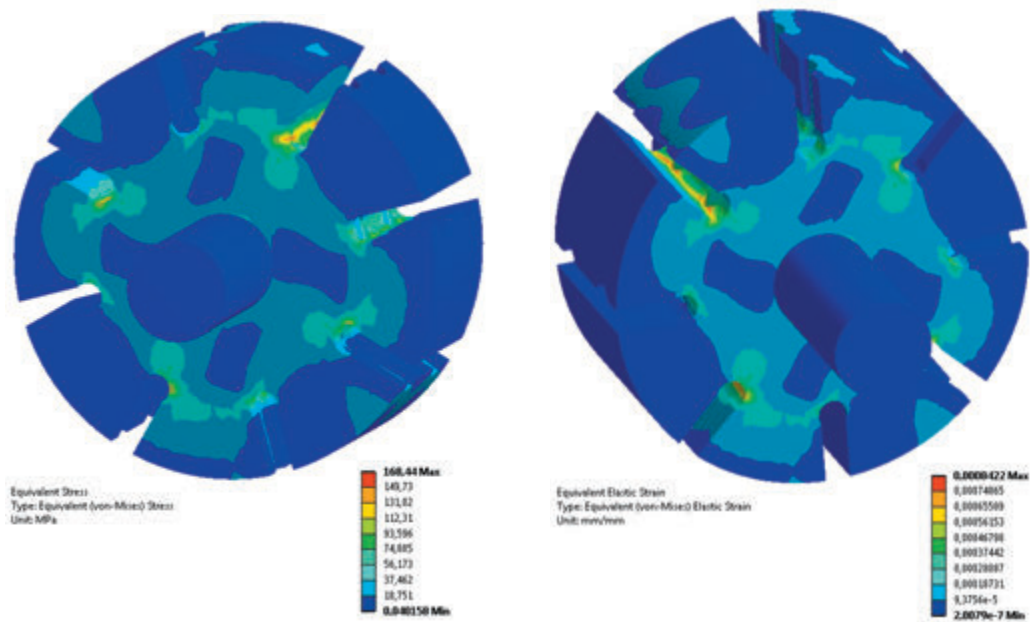
Przeprowadzono statyczne i dynamiczne obliczenia dla przedstawionego modelu pompy łopatkowej w środowisku ANSYS Workbench v13. Wartości naprężeń i odkształceń znajdowały się poniżej wartości dopuszczalnych. Dla każdego



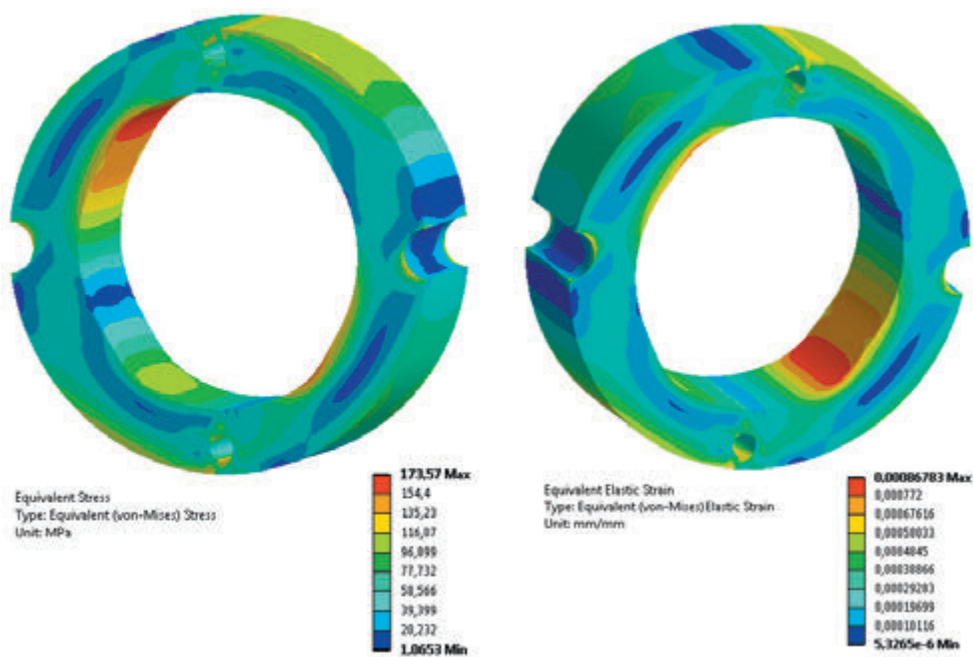
Rys. 5. Obciążenia od ciśnienia działające na łopatkę oraz siła pochodząca od sprężyn: F_h – siła od ciśnienia, F_s – siła od sprężyn



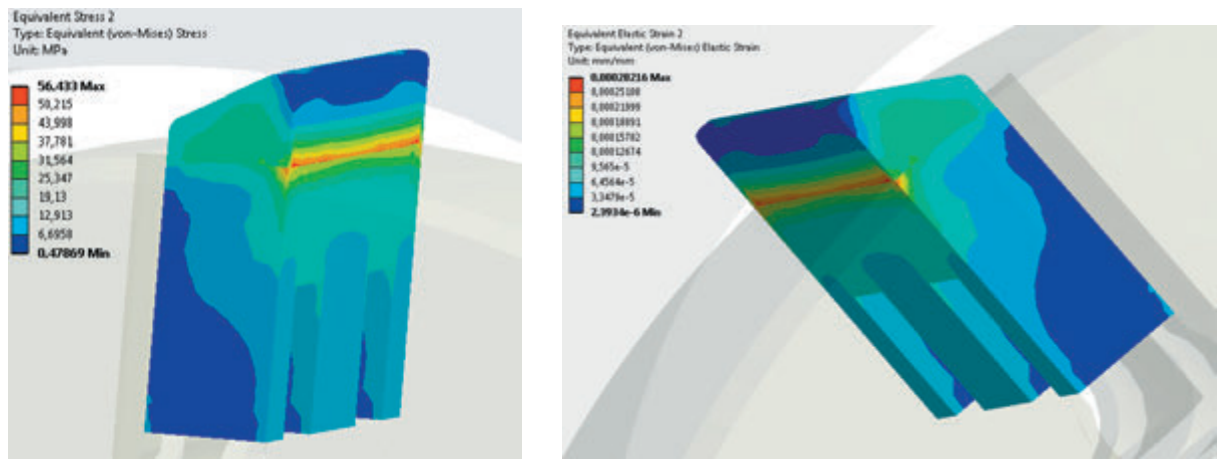
Rys. 6. Rozkład ciśnienia w pompie



Rys. 7. Naprężenia [MPa] i odkształcenia [mm] zredukowane wg hipotezy Hubera-Misesa wirnika pompy łopatkowej



Rys. 8. Naprężenia [MPa] i odkształcenia [mm] zredukowane wg hipotezy Hubera-Misesa bieźni pompy łopatkowej



Rys. 9. Naprężenia [MPa] i odkształcenia [mm] zredukowane wg hipotezy Hubera-Misesa łopatki pompy łopatkowej

z elementów przedstawiono warstwicę naprężeń zredukowanych oraz odkształceń wg hipotezy Hubera-Misesa. Na rysunku 7 przedstawiono wyniki obliczeń dla wirnika pompy.

Wartości naprężeń nie przekraczają wytrzymałości materiału, z którego wykonany jest wirnik. Z uwagi na bardzo niewielkie odkształcenia zagrożenie zaklinowania się łopatki w promieniowych wycięciach wirnika nie istnieje. Rysunek 8 przedstawia wyniki obliczeń dla bieżni pompy.

Wartości naprężeń dla bieżni są poniżej dopuszczalnych wartości. Odkształcenia wewnętrznej powierzchni bieżni są bardzo niewielkie i nie wpływają na zmianę punktu pracy łopatki z bieżnią.

Naprężenia i odkształcenia łopatek są poniżej dopuszczalnych wartości. Nie ma więc ryzyka złamania łopatki bądź jej zaklinowania w wirniku.

Podsumowanie

Przeprowadzono obliczenia wytrzymałościowe metodą elementów skończonych dla nowej mechatronicznej konstrukcji pompy łopatkowej. Uwzględniono obciążenia od ciśnienia, siły od sprężyn dociskających łopatki do bieżni oraz reakcje w miejscach styku tych elementów. Wyniki obliczeń pozwalają na dalsze prace projektowe pompy mechatronicznej. Obejmą one budowę dokładniejszego modelu dyskretnego pompy oraz dokładniejsze określenie obciążeń działających na elementy pompy (wg [6]). Dodatkowo przewiduje się obliczenia CFD przepływu w kanale ssawnym pompy w celu wyeliminowania powstawania kawitacji.

Literatura

- [1] Stryczek S., *Napęd hydrostatyczny*. WNT, Warszawa 1995
- [2] Szydełski Z., *Pojazdy samochodowe. Napęd i sterowanie hydrauliczne*. WKŁ, Warszawa 1999
- [3] Rusiński E., *Metoda elementów skończonych. System COSMOS/M*. WKŁ, Warszawa 1994
- [4] Zienkiewicz O., Taylor R., fourth ed., *The Finite Element Method, vols. 1 and 2*. McGraw-Hill, England, 1991
- [5] Cependa P., *Design of the vane pump with an integrated electrical drive*. Politechnika Wrocławska 2011
- [6] Fiebig. W., Dudzikowski I., Ciurys M., Kuczwara H., *A vane pump integrated with an electric motor*. 9th International Fluid Power Conference. Aachen, Germany 2014
- [7] Dudzikowski I., Ciurys M., *Komutatorowe i bezszczotkowe maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011