

Karol SZKLAREK

ZMIANA LUZU W SPRĘŻARCE Z CZTEREMA RÓWNOLEGLYMI WSPÓLBIEŻNYMI ROTORAMI O ZMIENNYM SKOKU LINII ŚRUBOWEJ

Streszczenie

W pracy przedstawiono problematykę zmiany luzu pod wpływem deformacji, w sprężarce z czterema rotorami współbieżnymi. Prezentowane badania zostały wykonane dla wersji sprężarkowej maszyny waporowej z rotorami o zmiennym skoku linii śrubowej. Przeprowadzone zostały obliczenia numeryczne z wykorzystaniem metody elementów skończonych, przy pomocy których zostały zmierzone wartości przyrostu luzu względem wysokości rotora. Dodatkowo otrzymane wyniki pozwoliły określić wyężenie tłoków według hipotezy Hubera-Misesa, oraz określić miejsca występowania największych i najmniejszych deformacji dla rozpatrywanych przypadków. Otrzymane wyniki udowodniły, że zmiany luzu pod wpływem obciążenia nie zagrażają poprawnemu działaniu sprężarki.

WSTĘP

W ramach badań prowadzonych nad sprężarką waporową z zespołem czterech równoległych współbieżnych rotorów, została przeprowadzona analiza wytrzymałościowa MES nowych rotorów śrubowych o zmiennym skoku linii śrubowej. Prowadzone badania są kontynuacją badań zapoczątkowanych w 2001 roku w katedrze PKMIM Politechniki Lubelskiej nad nowymi maszynami waporowymi. Przeprowadzona analiza numeryczna dotyczyła zmodyfikowanego rozwiązania konstrukcyjnego sprężarki uwzględniającego wnioski z wcześniejszych badań.

Maszyny ze współbieżnymi rotorami śrubowymi nie posiadają żadnych elementów uszczelniających, a o ich sprawności wolumetrycznej decyduje luz występujący między powierzchniami współpracujących rotorów. Luz pomiędzy tymi powierzchniami musi być wystarczająco mały, aby zapewnić jak najmniejsze rozszczelnienie przestrzeni roboczej maszyny, a jednocześnie na tyle duży aby obracające się rotory miały swobodę ruchu, bez wzajemnego ocierania się o siebie. Błędne dobranie luzu, powoduje tarcie o siebie krawędzi płatów rotorów co w skrajnych przypadkach może powodować zatarcie się maszyny.

Ponieważ luz między rotorami musi uwzględniać odkształcenia rotorów wywołane ich obciążeniem podczas pracy, przeprowadzono

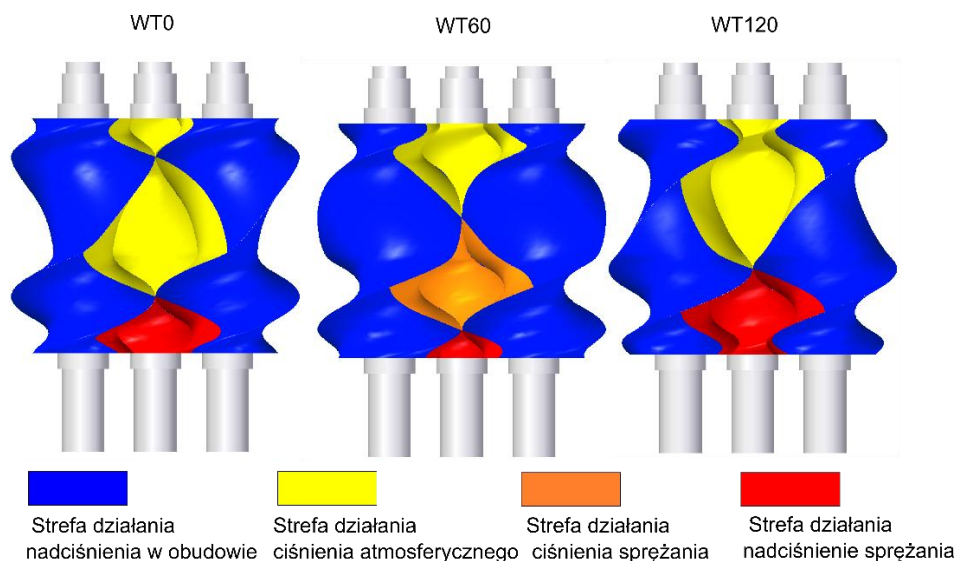
analizę wytrzymałościową nowych rotorów śrubowych o zmiennym skoku linii śrubowej i wpływu ich odkształcenia na zmiany luzu między nimi. Złożony stan obciążenia oraz jego skomplikowany kształt wymógł do tego celu zastosowania odpowiednich technik komputerowych oraz metody elementów skończonych. Analizę numeryczną przeprowadzono na podstawie sporządzonej dokumentacji maszyny z czterema rotorami śrubowymi w wersji sprężarkowej [1,2,3].

1. ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA ROTORÓW

1.1. Tytuł podrozdziału (Poziom 2)

Analizę wytrzymałościową rotorów przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu oprogramowania, wykorzystującego metodę elementów skończonych - program ABAQUS®. Obliczenia uwzględniały warianty obciążenia powierzchni roboczych rotorów ciśnieniami dla trzech skrajnych położen kątowych rotorów o oznaczeniu WT0, WT60, WT120, w których liczba oznacza położenie kątowe rotora w stopniach, przy trzech prędkościach obrotowych 2000, 4000 i 6000 obr/min.

Podczas pracy sprężarki, współpracujące rotory tworzą pomiędzy sobą zamknięte przestrzenie robocze, w których panujące ciśnienie na nie oddziałuje. Granice stref oddziaływania tych ciśnień



Rys. 1 Rozkład stref ciśnienia na powierzchniach rotorów dla omawianych położen kątowych.

na powierzchni czynne tworzone są przez krawędzie zwoi sąsiednich rotorów. Ciśnienie w nich panujące oddziałuje na powierzchnie ograniczone tymi zwojami. Układ stref oraz wartości panujących w nich ciśnień jest uzależniony od położenia kąтового rotorów. Zastosowanie zmiennego skoku linii śrubowej w konstrukcji rotora, umożliwia zrealizowanie wewnętrznego sprężania powietrza. W trakcie cyklu pracy, powietrze zasane z kanału dolotowego (strefa oddziaływania ciśnienia atmosferycznego) transportowane jest w kierunku kanału wylotowego w którym panuje nadciśnienie sprężania. Podczas tego procesu powietrze jest sprężane tworząc strefę ciśnienia sprężania, powodującą dodatkowe zmiany wartości ciśnień oddziałujących na powierzchnię rotora. W badanej konstrukcji elementy wyporowe umieszczone są w szczelnej obudowie [2], której obecność powoduje powstanie kolejnej strefy ciśnienia. Rozkład stref dla omawianych położen rotorów przedstawiono na rysunku 1.

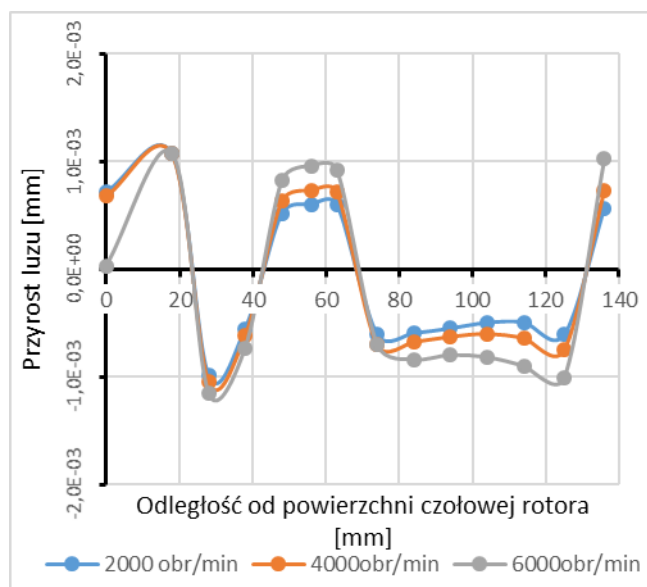
W czasie tworzenia modelu obliczeniowego do analizy MES, dokonano podziału powierzchni roboczych w taki sposób, aby po zdyskretyzowaniu możliwe było zadanie właściwego obciążenia w postaci stałego ciśnienia. Ponadto węzły tworzonej siatki wygenerowano w sposób umożliwiający wyznaczenie wartości luzu między dwoma współpracującymi rotorami. Siatkę tetragonalną elementów skończonych utworzono z 10 węzłowych kwadratowych elementów skończonych typu C3D10. W miejscach osadzenia rotora na łożyskach, modele utwierdzono odbierając możliwość przemieszczeń w kierunku promieniowym. Dodatkowo odebrano możliwość obrotu dla jednego

z łożysk w celu uwzględnienia obecności napędu sprężarki i utwierdzono w kierunku osiowym na dolnej powierzchni czopa wału [1,2]. Obliczenia przeprowadzono dla rotorów o następujących cechach materiałowych: Moduł Younga $E=2.068 \text{ e5 [MPa]}$, współczynnik Poissona $\nu=0,29$, gęstość $\rho=7900 \text{ kg/m}^3$. Przyjęte wartości ciśnień jak i prędkości obrotowej odpowiadały parametrom pracy sprężarki z rotorami o zmiennym skoku linii śrubowej.

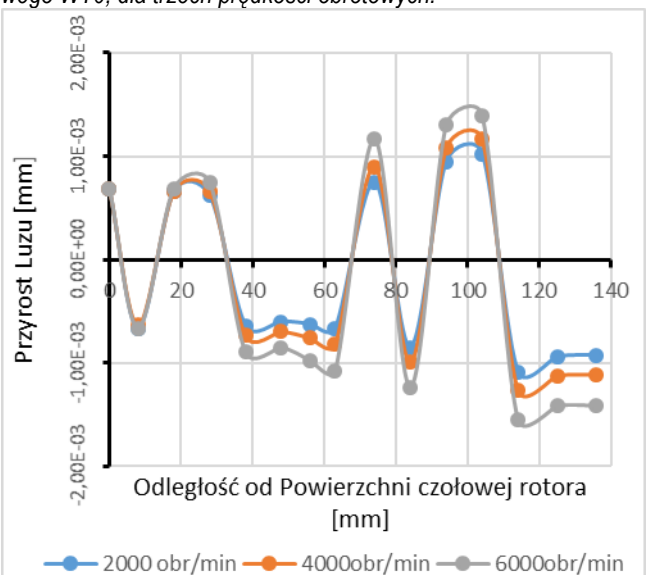
1.2. WPŁYW DEFORMACJI ROTORÓW NA ZMIANY LUZU MIĘDZY ROTORAMI

W celu określenia zmiany luzu podczas deformacji rotorów śrubowych, w momencie dyskretyzacji modele zostały podzielone płaszczyznami prostopadłymi do osi obrotu na różnych wysokościach. Utworzone płaszczyzny wyznaczyły punkty w siatce elementów skończonych na przekrojach warstwowych, które następnie posłużyły do określenia zmiany luzu. W każdym z przekrojów wyznaczano punkty A i B powierzchni rotorów, należące pojedynczo do każdego z nich, które przy zadanym położeniu kątowym były najbardziej zbliżone do siebie. Pomiaru zmiany wartości luzu dokonano przy pomocy narzędzia do pomiaru odległości dostępnego w programie ABAQUS. Narzędzie to umożliwiło odczytanie obliczonych wartości takich jak: współrzędne punktów, odległości między nimi (w przypadku braku oraz dla zadanego obciążenia), a także różnicę tych dwóch odległości.

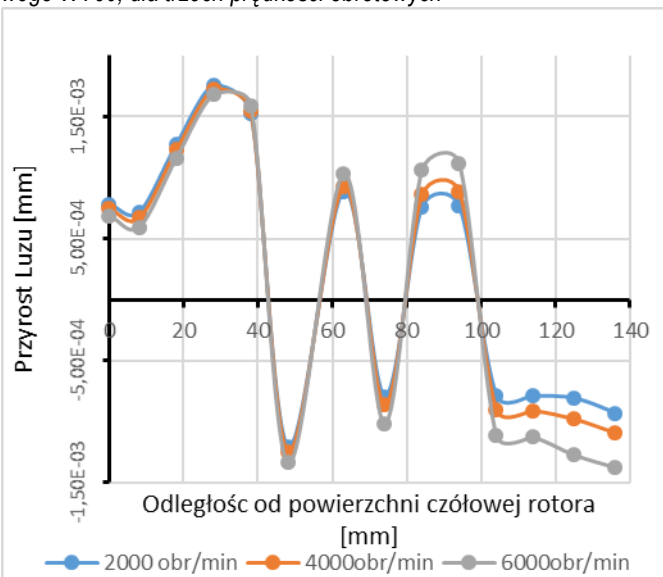
Przyrost wartości luzu między rotorami wzdłuż ich wysokości mierzonej równoległe do osi rotora od kanału wylotowego do kanału dolotowego sprężarki, dla trzech wariantów obciążeń i trzech położen kątowych przedstawiono na rysunkach 2-4



Rys. 2 Zmiany luzu między rotorami śrubowymi dla położenia kąowego WTO, dla trzech prędkości obrotowych.



Rys. 3 Zmiany luzu między rotorami śrubowymi dla położenia kąowego WT60, dla trzech prędkości obrotowych



Rys. 4 Zmiany luzu między rotorami śrubowymi dla położenia kąowego WT120, dla trzech prędkości obrotowych.

PODSUMOWANIE

Otrzymane w analizie MES wartości naprężeń zredukowanych według hipotezy Hubera-Misesa, osiągnęły niski poziom, nie zagrażając tym samym całej konstrukcji. Odczytane naprężenia na powierzchniach śrubowych rotorów osiągnęły rząd wielkości 2-4 MPa, wartości te są bardzo małe i dalekie od naprężeń dopuszczalnych.

Wartości przemieszczeń całkowitych były małe i nie przekroczyły 2µm. Przyrost prędkości obrotowej w każdym przypadku spowodował wzrost maksymalnych przemieszczeń. Analiza wskazała miejsca występowania maksymalnych przemieszczeń, które zależą od kąta położenia. Największe odkształcenia zostały zaobserwowane dla rotora w położeniu kątowym WT120 (120°) przy 6000obr/min. Wartość największego przemieszczenia całkowitego dla tego przypadku wyniosła 1,974 µm. Analizując wartości przemieszczeń w kierunku osiowym i promieniowym rotora stwierdzono, że największe odkształcenia w kierunku osiowym pojawiły się na krawędziach rotora o małym skoku linii śrubowej (fragment rotora znajdujący się w pobliżu kanału wylotowego). Natomiast w miejscach rotora o dużym skoku linii śrubowej największy wpływ na deformacje mają przemieszczenia w kierunku promieniowym.

Zmiany luzu pomiędzy rotorami przy ich obciążeniu ciśnieniem i prędkością obrotową są niewielkie i nie powinny mieć wpływu na poprawną pracę sprężarki. Największy wzrost luzu zaobserwowano dla położenia kąowego 120° w odległości 28 mm od powierzchni czołowej rotora przy kanale wylotowym i wyniósł on 1,68 µmm. Natomiast największe zmniejszenie luzu o 1,55 µmm odnotowano dla położenia kąowego WT60 (60°) w odległości 114 mm przy 6000 obr/min. Na podstawie otrzymanych wykresów przyrostu luzu wzdłuż wysokości rotora, stwierdzono, że zmiana prędkości obrotowej ma największy wpływ na fragment rotora o dużym skoku linii śrubowej, który znajduje się przy kanale wlotowym powietrza. W tych miejscach otrzymano największe zmiany luzu wraz ze wzrostem obrotów. W niższych partiach zmiany luzu są praktycznie jednakowe dla wszystkich prędkości obrotowych. W tych miejscach występują ciśnienie sprężania i mały skok linii śrubowej.

Można zauważyć, że wartości zmiany luzu są o rząd wielkości mniejsze od zakładanego luzu 0,07 mm dla badanego typu rotora[1,2]. Odkształcenia rotorów oraz wartości naprężeń powstałe w skutek obciążenia ciśnieniem i prędkością obrotową są niewielkie i nie zagrażają poprawnej pracy sprężarki.

BIBLIOGRAFIA

1. Zniszczyński A., Ponieważ G., *Badania wpływu deformacji rotorów na zmiany luzu w sprężarce z czterema śrubowymi współbieżnymi rotorami*. Przegląd Mechaniczny nr 5/2007, s173.
2. Zniszczyński A., *Studium teoretyczno-doświadczalne maszyn waporowych z zespołem czterech równoległych współbieżnych rotorów*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2007.
3. Jonak J., Zniszczyński A., *Wykorzystanie FEM do analizy wytrzymałościowej i zmian luzu w maszynach waporowych z zespołem czterech współbieżnych rotorów*. Górnictwo odkrywkowe nr4-5/2008

CHANGING THE CLEARANCE IN THE COMPRESSOR WITH FOUR PARALLEL COUNTER-ROTATING ROTORS WITH VARIABLE PITCH HELICAL

Abstract

The paper presents the problem of changing clearance under the influence of deformation in the compressor rotors with four concurrent. The present study has been done for displacement compressor machines version with rotors with variable pitch helix. Numerical calculations were carried out using the finite element method by means of which were measured the value of clearance increment in terms of the height rotor. In addition, the results helped to identify the effort of the pistons according to Huber-Mises hypothesis, and specify the location of the largest and the smallest deformations for pending cases. The results proved that the changes under load slack not endanger the soundness of the compressor.

Autorzy:

Mgr inż. **Karol Szklarek** –Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra PKMiM