

AUTOREFERAT

**dr inż. Sławomir Błasiak
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii**

Załącznik nr 2

KIELCE 2017

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko.

Sławomir Błasiak

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- magister inżynier specjalność budowa maszyn na kierunku technika uzbrojenia. Praca magisterska pod tytułem „Projekt stanowiska do badania pracy zapalników wyrobów raketowych w warunkach przeciążeń występujących w różnych fazach lotu”, promotor dr inż. Janusz Tuśnio, Wydział Mechaniczny Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, 2000.
- Doktor nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn, praca doktorska pod tytułem „Dynamika bezstykowych uszczelnień czołowych z pierścieniami o modyfikowanych powierzchniach”, promotor dr hab. inż. Czesław Kundera, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, 2007.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

- Miejsce zatrudnienia:
Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce.
- Historia zatrudnienia:
 - 2008-2009 – asystent w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej.
 - 2009-obecnie – adiunkt w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej.

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącego znaczny wkład w rozwój dyscypliny mechanika wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

- a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Moje osiągnięcie naukowe w rozumieniu Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, art. 16 pkt 2. stanowi monotematyczny cykl publikacji pt.:

„Wpływ termosprężystości na parametry pracy bezstykowych uszczelnień czolowych”

b) wykaz prac naukowych dokumentujących osiągnięcie naukowe, stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

- A1. Błasiak, S., Zahorulko, A. V.: *A parametric and dynamic analysis of non-contacting gas face seals with modified surfaces*, Tribology International 94 (2016), pp. 126–137. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 35, impact factor w roku wydania: 2,259) – Mój udział procentowy szacuję na 80 %.
- A2. Błasiak, S.: *The two dimensional thermohydrodynamic analysis of a lubrication in non-contacting face seals*, Journal of Thermal Science and Technology 10(1) (2015), JTST0016-JTST0016. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 15, impact factor w roku wydania: 0,611) – Mój udział procentowy szacuję na 100 %.
- A3. Błasiak, S.: Laski, P. A., Takosoglu, J. E.: *Parametric analysis of heat transfer in non-contacting face seals*, International Journal of Heat and Mass Transfer 57(1) (2013), pp. 22–31. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 40, impact factor w roku wydania: 2,522) – Mój udział procentowy szacuję na 60 %.
- A4. Błasiak, S., Kundera, C., Bochnia, J.: *A Numerical Analysis of the Temperature Distributions in Face Sealing Rings*, in: V. Martsynkovskyy, A. Zahorulko (Eds.), XIIITH INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND ENGINEERING CONFERENCE HERMETIC SEALING, VIBRATION RELIABILITY AND ECOLOGICAL SAFETY OF PUMP AND COMPRESSOR MACHINERY-HERVICON-2011, ELSEVIER SCIENCE BV, SARA BURGERHARTSTRAAT 25, PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS, 2012, pp. 366–378. (materiały konferencyjne indeksowane na WoS) – Mój udział procentowy szacuję na 40 %.
- A5. Błasiak, S., Kundera, C.: *A Numerical Analysis of the Grooved Surface Effects on the Thermal Behavior of a Non-Contacting Face Seal*, in: V. Martsynkovskyy, A. Zahorulko (Eds.), XIIITH INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND ENGINEERING CONFERENCE HERMETIC SEALING, VIBRATION RELIABILITY AND ECOLOGICAL SAFETY OF PUMP AND COMPRESSOR MACHINERY-HERVICON-2011, ELSEVIER SCIENCE BV, SARA BURGERHARTSTRAAT 25, PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS, 2012, pp. 315–326. (materiały konferencyjne indeksowane na WoS) – Mój udział procentowy szacuję na 50 %.
- A6. Błasiak, S., Pawinska, A.: *Direct and inverse heat transfer in non-contacting face*

- seals*, International Journal of Heat and Mass Transfer 90 (2015), pp. 710–718. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 40, impact factor w roku wydania: 2,857) – Mój udział procentowy szacuję na 60 %.
- A7. Błasiak, S.: *Time-fractional heat transfer equations in modeling of the non-contacting face seals*, International Journal of Heat and Mass Transfer 100 (2016), pp. 79–88. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 40, impact factor w roku wydania: 2,857) – Mój udział procentowy szacuję na 100 %.
- A8. Błasiak, S.: *Heat conduction problem in non-contacting face seals*, in: I. Zolotarev, V. Radolf (Eds.), ENGINEERING MECHANICS 2016, ACAD SCI CZECH REPUBLIC, INST THERMOMECHANICS, DOLEJSKOVA 5, PRAGUE 8, 182 00, CZECH REPUBLIC, 2016, pp. 70–73. (materiały konferencyjne indeksowane na WoS) – Mój udział procentowy szacuję na 100 %.
- A9. Błasiak, S., Takosoglu, J. E., Laski, P. A.: *Heat transfer and thermal deformations in non-contacting face seals*, Journal of Thermal Science and Technology 9(2) (2014), JTST0011-JTST0011. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 15, impact factor w roku wydania: 0,536) – Mój udział procentowy szacuję na 60 %.
- A10. Błasiak, S.: *An analytical approach to heat transfer and thermal distortions in non-contacting face seals*, International Journal of Heat and Mass Transfer 81 (2015), pp. 90–102. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 40, impact factor w roku wydania: 2,857) – Mój udział procentowy szacuję na 100 %.

c) omówienie celu naukowego prac wymienionych w punkcie 4b i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Uzasadnienie celu i zakresu badań

Wprowadzenie obostrzonych norm dotyczących emisji substancji szkodliwych do środowiska naturalnego stawia przed konstruktorami węzłów uszczelniających niezwykle rygorystyczne wymagania. Jak podkreślają badacze zajmujący się czołowymi uszczelnieniami bezstykowymi, uszczelnienia tego typu stanowią newralgiczne elementy maszyn i urządzeń, w których zostały użyte. Zauważyć również należy, że uszczelnienia te są stosowane praktycznie we wszystkich gałęziach przemysłu i mogą pracować w diametralnie skrajnych warunkach eksploatacyjnych i środowiskowych. Bezstykowe uszczelnienia czołowe znalazły szerokie zastosowanie w maszynach wirnikowych, między innymi w kompresorach i wysokoobrotowych pompach, gdzie odgrywają niezwykle istotną rolę polegającą na odseparowaniu od środowiska zewnętrznego uszczelnianych mediów. Główne zadanie stawiane uszczelnieniom to zachowanie maksymalnej szczelności, niezależnie od zmieniających się czynników zewnętrznych.

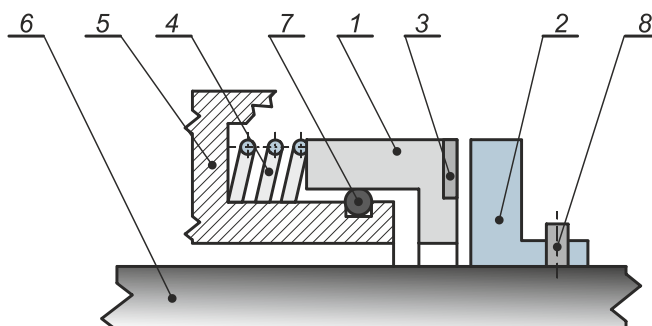
Podjęcie tematu pracy wynikało z wymogów konstrukcyjnych stawianych uszczelnieniom bezstykowym polegających na założeniu, że szczelina promieniowa wypełniona jest medium roboczym, a jej wysokość powinna pozostać na ustalonym konstrukcyjnie poziomie od jednego do kilku mikrometrów. Utrzymanie tego założenia może okazać się trudne do osiągnięcia z uwagi na liczne czynniki zaburzające oddziałujące na uszczelnienia bezstykowe podczas pracy. Do czynników pogarszających stabilną pracę można zaliczyć m.in. zaburzenie równowagi sił działających na współpracujące pierścienie, które może być wynikiem awarii elementów konstrukcyjnych np. sprężyn dociskowych, awarii uszczelnień wtórnych oraz innych czynników zewnętrznych (niekontrolowany skok ciśnienia roboczego, temperatury) lub wewnętrznych tj.: deformacje termiczne, wzrost amplitudy drgań pierścieni uszczelniających itp.

Reasumując, tematyka dotycząca bezstykowych uszczelnień czołowych ze względu na ich powszechne zastosowanie stanowi przedmiot badań w wielu ośrodkach na świecie. W ostatnich latach pojawiły się prace poświęcone sformułowaniu i rozwiązaniu modeli teoretycznych dotyczących przepływu czynnika przez szczelinę promieniową zarówno dla medium ściśliwego i nieściśliwego oraz dynamiki pierścieni uszczelniających. Praktycznie wszystkie przedstawione wyniki uzyskane zostały w oparciu o autorskie programy komputerowe, gdzie równanie Reynolds'a, opisujące rozkład ciśnienia w warstwie medium rozdzielającej pierścienie, rozwiązywane było z użyciem metod numerycznych np. metody elementów skończonych bądź metody różnic skończonych. Autorzy tych prac nie podają algorytmów obliczeniowych, a tym bardziej kodów źródłowych opracowanych programów. Tylko w nielicznych pracach wykorzystano oprogramowanie komercyjne do wyznaczenia rozkładu ciśnienia w szczelinie, co służyło głównie sprawdzeniu poprawności uzyskanych wyników. Dokonując wnikliwego przeglądu literatury światowej można zauważyć, że tematyka dotycząca wymiany ciepła w bezstykowych uszczelnieniach w czołowych, szczególnie w ostatnich latach, zaczęła cieszyć się coraz to większym zainteresowaniem. A w artykułach pojawiają się coraz to bardziej złożone modele matematyczne opisujące wymianę ciepła w układzie pierścieni uszczelniających - czynnik roboczy. Zaczęto również w tych modelach uwzględniać deformacje termiczne pierścieni uszczelniających. Zagadnienia te jednak do dziś nie są dostatecznie rozpoznane. Skomplikowane mechanizmy procesów: przepływu, dynamiki oraz termosprężystości w tych newralgicznych elementach, jakimi są bezstykowe uszczelnienia czołowe sprawiają, że zagadnienia te wymagają analiz zarówno teoretycznych, jak i eksperymentalnych, a wyniki mogą nadal być niejednoznaczne. Ze względu na złożoność zjawisk fizycznych zachodzących w czasie pracy bezstykowego uszczelnienia czołowego w literaturze przedmiotu nie

funkcjonują uogólnione, uniwersalne równania, które pozwoliłyby, określić zakres deformacji pierścieni uszczelniających. Dlatego też do każdego rodzaju konstrukcji, która jest projektowana dla konkretnych warunków pracy, należy podejść indywidualnie. Wiąże się to z opracowywaniem modeli matematycznych ściśle uwzględniających wszystkie parametry związane z funkcjonowaniem maszyny przepływowej. Wszystkie przedstawione powyżej problemy skłoniły mnie do podjęcia pracy nt. "Wpływu termosprężystości na parametry pracy bezstykowych uszczelnień czołowych".

Przedmiot badań

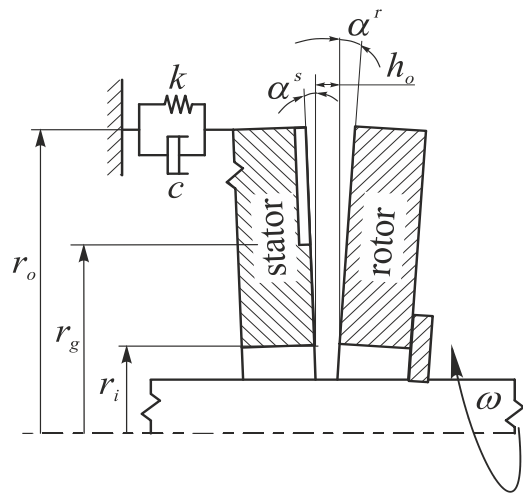
Konstrukcja uszczelnień bezstykowych, zakłada pracę tego typu urządzeń z pewnym minimalnym przeciekem. Oznacza to, że charakterystyczną cechą uszczelnień bezstykowych jest utrzymywanie między powierzchniami czołowymi współpracujących pierścieni, stabilnej (założonej) szczeliny dławiącej przeciek. na Rys. 1 zaprezentowano schemat czołowego uszczelnienia bezstykowego smarowanego gazem z podatnie zamocowanym w obudowie statorem (typu FMS flexibly mounted stator).



Rys. 1. Schemat uszczelnienia czołowego; 1 – stator, 2 – rotor, 3 – żłobienie, 4 – sprężyna dociskowa, 5 – obudowa, 6 – wał, 7 – O-ring, 8 – element ustalający.

Uszczelnienie składa się z dwóch pierścieni, z których jeden stator (1) osadzony jest podatnie w obudowie, natomiast drugi rotor (2) obraca się wraz z wałem (6) maszyny wirnikowej. Szczelina promieniowa, która występuje pomiędzy współpracującymi powierzchniami czołowymi wypełniona jest uszczelnianym medium i tworzy ciągłą warstwę o niewielkiej wysokości (rzędu kilku mikrometrów). Warstwa rozdzielająca pierścienie robocze ma określone własności sprężysto-tłumiące i powoduje przeniesienie drgań z rotora do statora. Jeżeli powierzchnie czołowe pierścieni są ustawione równoległe względem siebie, oznacza to, że poruszają się synchronicznie, a szczelina ma praktycznie stałą wartość zbliżoną do wartości nominalnej h_0 . Zazwyczaj jednak błędy wykonania, błędy montażowe lub ugięcie

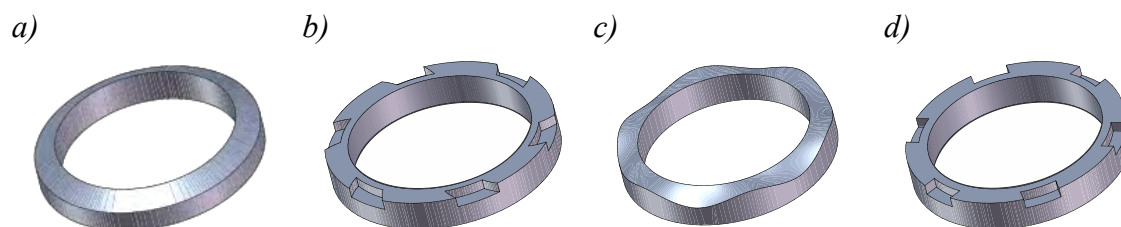
wału w czasie pracy, powoduje powstawanie niewspółosiowego położenia pierścieni uszczelniających (Rys. 2) i generowanie dodatkowych drgań wymuszających (osiowych i kątowych) pochodzących od rotora.



Rys. 2. Schemat działania bezstykowego uszczelnienia czołowego.

W przypadku bezstykowych uszczelnień czołowych jedną z metod pozwalających na utrzymanie stabilnej warstwy medium rozdzielającej pierścienie robocze jest zastosowanie regulacji wysokości szczeliny promieniowej w czasie pracy urządzenia. Tego typu badania zostały zaprezentowane w pracach S. Yelma, opublikowanych na łamach Tribology Transactions. W artykule były przedstawione wyniki badań modelowych i stanowiskowych dla czołowego uszczelnienia bezstykowego dla mediów ściśliwych, w którym zastosowano modyfikację powierzchni czołowej jednego z pierścieni uszczelniających w postaci stożkowatości oraz zaprezentowano model sterowania pozwalający na regulację wysokości szczeliny promieniowej. Zastosowanie układów regulacji celem uzyskania zmian wysokości szczeliny na poziomie kilku mikrometrów staje się kosztowne ze względu na konieczność użycia skomplikowanych układów wykonawczych. Dodatkowym aspektem przemawiającym na niekorzyść zastosowania omawianych rozwiązań jest konieczność miniaturyzacji i wprowadzania dodatkowych systemów sterowania do węzłów uszczelniających. Innym alternatywnym sposobem uzyskania pożądanego efektu jest wprowadzenie tzw. układów półaktywnych bądź samoregulujących. Realizowane jest to poprzez wprowadzenie określonego rodzaju modyfikacji geometrycznych (mikrostruktur) na bieżniach pierścieni roboczych. Zastosowanie mikrostruktur w postaci promieniowych lub spiralnych kanałków, teksturowania powierzchni czołowych lub uszczelnień impulsowych, powoduje zmiany własności dynamicznych warstwy czynnika rozdzielającego pierścienie robocze (filmu smarnego). Własności te można opisać za pomocą współczynników sztywności oraz tłumienia, które z kolei pośrednio charakteryzują siłę generowaną w warstwie rozdzielającej pierścienie. Wzrost

wartości siły rozdzielającej pierścienie, pozwala na utrzymanie stabilnej (ciągłej) warstewki medium (ang. *fluid film*), co uniemożliwia styk pierścieni uszczelniających w czasie pracy. Wartości współczynników dynamicznych można wyznaczyć na podstawie równania Reynolds'a, stosując np. metodę perturbacji. Analizy tego rodzaju pozwalają określić, które z parametrów geometrycznych zastosowanych modyfikacji mają wpływ na własności dynamiczne warstewki medium rozdzielającej pierścienie robocze, a w konsekwencji na drgania pierścieni uszczelniających. W literaturze można spotkać publikacje naukowe, w których dokładnie opisano zazwyczaj jeden ściśle określony rodzaj modyfikacji i przedstawiono wyniki analiz w postaci wykresów drgań osiowych i kątowych pierścienia podatnie zamocowanego. Po mimo upływu kilku lat od obrony mojej pracy doktorskiej nt. „Dynamiki bezstykowych uszczelnień czołowych z pierścieniami o modyfikowanych powierzchniach”, nie opublikowano pracy badawczej, w której znalazłoby się zestawienie wyników przedstawiające porównanie drgań pierścieni z różnego typu modyfikacjami powierzchni dla ściśle określonych warunków pracy. Wyniki analiz dotyczących drgań pierścienia podatnie zamocowanego w obudowie dla bezstykowego uszczelnienia czołowego w oparciu o autorski program komputerowy przedstawiono w artykule [A1]. Badania symulacyjne przeprowadzono dla czterech wybranych rodzajów modyfikacji powierzchni czołowych pierścieni, tj. powierzchni ze stożkowatością, ze spiralnymi kanałami, z pofalowaną powierzchnią (*wavy face*) i promieniowymi kanałkami (Rys. 3).



Rys. 3. Kształty modyfikacji powierzchni:

a) – powierzchnia stożkowa, b) – powierzchnia ze spiralnymi żłobieniami,
c) – powierzchnia falista, d) – powierzchnia z promieniowymi żłobieniami.

Podjęta tematyka pracy miała na celu porównanie określonych rodzajów modyfikacji i ich wpływu na prawidłową pracę gazodynamicznego bezstykowego uszczelnienia czołowego.

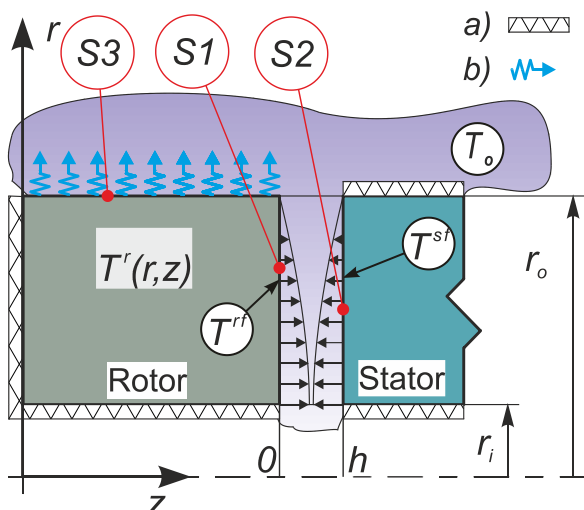
Numeryczne rozwiązanie złożonego modelu matematycznego obejmującego równania dynamiki drgań pierścienia podatnie zamocowanego w obudowie oraz nieliniowego równania Reynoldsa dla medium ściśliwego zawarto w pracy [A1]. Wyznaczenia rozkładu ciśnienia w warstewce medium rozdzielającego pierścienie uszczelniające jest konieczne do obliczenia siły oraz momentów hydrodynamicznych.

Dwuwymiarowe równanie Reynoldsa rozwiązane zostało z użyciem metody objętości kontrolnej (ang. *Finite Volume Method (FVM)*). Dokładne wyznaczenie rozkładu ciśnienia, szczególnie dla szczeliny o ściśle określonej i zmieniającej się pod wpływem wymuszeń kinematycznych geometrii, pozwala na uzyskanie bardziej precyzyjnych wartości parametrów, tj. współczynników dynamicznych i wspomnianych również sił i momentów gazodynamicznych (hydrodynamicznych). W omawianej pracy potwierdzono również tezę, że zastosowanie modyfikacji bieżni pierścieni roboczych pozytywnie wpływa na działanie bezstykowych uszczelnień czołowych smarowanych gazem, co przekłada się w efekcie na ograniczenie zużycia powierzchni roboczych (ślizgowych) pierścieni przy jednoczesnym zminimalizowaniu wycieku oraz zmniejszenia oporów tarcia. Osiągnięcie tych rezultatów jest możliwe w przypadku prawidłowego doboru kształtu i wymiarów geometrycznych zastosowanych modyfikacji w odniesieniu do warunków pracy maszyny przepływowej (ciśnienia roboczego, prędkości obrotowej, obciążenia). Wymaga to jednak dużych nakładów finansowych oraz przeprowadzenia licznych doświadczeń na stanowisku badawczym. Alternatywnym sposobem osiągnięcia pożądaných efektów jest opracowanie aparatu obliczeniowego wspomagającego projektowanie, a w szczególności dobór rodzaju oraz geometrii pary pierścieni uszczelniających w odniesieniu do wymogów eksploatacyjnych. Wymaga to opracowywania specjalistycznego oprogramowania umożliwiającego przeprowadzenie kompleksowych analiz i badań symulacyjnych dla bezstykowych uszczelnień czołowych z modyfikowanymi powierzchniami. Wynikiem mojej wielomiesięcznej pracy było opracowanie autorskiego programu w języku C++, obejmującego szereg algorytmów i procedur umożliwiających rozwiązanie złożonego modelu matematycznego opisującego bezstykowe uszczelnienia czołowe z użyciem metod numerycznych. Model matematyczny swoim zakresem obejmował nieliniowe równanie Reynolds'a oraz układ równań ruchu pierścienia stacjonarnego. Zademonstrowane przykłady obliczeń numerycznych dowiodły, że wybrane parametry eksploatacyjne i geometryczne związane z modyfikacjami powierzchni statora mają istotne znaczenie na właściwą (bezstykową) pracę tego typu uszczelnień. Opracowany program komputerowy umożliwia przeprowadzenie kompleksowej parametrycznej analizy uszczelnień bezstykowych z pierścieniem o zadanej topografii powierzchni. Opisany program komputerowy może być dobrym narzędziem wspomagającym projektowanie nowych uszczelnień lub być przydatnym przy doborze odpowiednich modyfikacji do zadanych warunków pracy.

W toku dalszej działalności naukowej rozwijałem zagadnienia związane z problematyką wymiany ciepła w węźle uszczelniającym, które zasygnalizowane były w mojej rozprawie doktorskiej.

Przy budowaniu modeli matematycznych bezstykowych uszczelnień czołowych stosowanych w urządzeniach o podwyższonych parametrach pracy, tj.: ciśnieniu, prędkości obrotowej itp., konieczne jest uwzględnienie zjawisk wymiany ciepła. Proces zamiany pracy mechanicznej (opory tarcia) na energię cieplną, związany jest ze ścinaniem czynnika roboczego, co powoduje wzrost temperatury w warstewce medium rozdzielającej pierścienie robocze. Generowany w szczelinie promieniowej strumień ciepła powoduje nierównomierny rozkład temperatury zarówno w samej warstwie medium, jak również w pierścieniach uszczelniających. Ponadto duży gradient temperatury wpływa na zmianę własności fizycznych medium (lepkość, gęstość), może również prowadzić do odparowywania czynnika ze szczeliny oraz wywoływać deformacje termosprężyste pierścieni uszczelniających zaburzając warunki pracy, na jakie uszczelnienie zostało zaprojektowane.

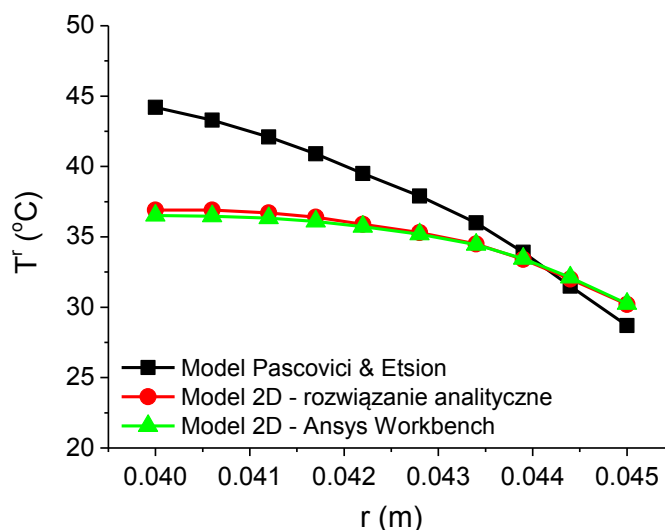
Na przestrzeni ostatnich lat, w literaturze światowej ukazały się prace, dotyczące analizy wymiany ciepła w elementach konstrukcyjnych bezstykowych uszczelnień czołowych oraz warstwie medium ograniczonej pierścieniami uszczelniającymi. Jedne z pierwszych artykułów, zawierały jednowymiarowe modele matematyczne opisujące zarówno rozkład temperatury w szczelinie, jak również przewodnictwa ciepła w pierścieniach roboczych. Zredukowanie liczby wymiarów do układu płaskiego (dwuwymiarowego) i rozwiązanie uproszczonego w ten sposób modelu pozwoliło na przeprowadzenie szeregu analiz oraz opracowanie podstaw teoretycznych dla wymiany ciepła w bezstykowych uszczelnieniach czołowych. Pascovici i Etsion rozwiązali dwuwymiarowy model przewodzenia ciepła dla uszczelnienia typu face-to-face (double seal). W wyniku rozwiązania analitycznego otrzymali oni promieniowy rozkład temperatury w warstewce medium oraz pierścieniu obrotowym (rotorze) wykorzystując założenie, że powierzchnie drugiego z pierścieni – statora są perfekcyjnie izolowane, a całe ciepło generowane w warstewce medium jest przewodzone przez rotor do otaczającego medium po stronie procesowej. Analizę porównawczą modelu opublikowanego przez Pascovici i Etsion z opracowanym przeze mnie dwuwymiarowym modelem termohydrodynamicznym opisującym wymianę ciepła w warstwie medium i układzie pierścieni roboczych, który został rozwiązany analitycznie przedstawiłem w pracy [A2]. Dwuwymiarowy modelem wymiany ciepła został przedstawiony schematycznie na Rys. 4.



Rys. 4. Model wymiany ciepła dla układu pierścieni dla uszczelnienia typu face-to-face. a) powierzchnie izolowane, b) konwekcja.

Model matematyczny stanowi układ równań: równanie przewodnictwa ciepła dla pierścienia obrotowego, równanie energii, jednowymiarowe równanie Reynolds'a oraz funkcja opisująca wysokość szczeliny promieniowej.

Do rozwiązania równania różniczkowego o pochodnych cząstkowych zastosowałem metodę rozdzielania zmiennych. Równanie energii oraz równanie przewodnictwa zapisano w układzie walcowym, a rozwiązanie analityczne oparte zostało o funkcje Bessel'a pierwszego i drugiego rodzaju.



Rys. 5. Porównanie wyników z autorskiego rozwiązania analitycznego modelu wymiany ciepła z rozwiązaniem modelu zaprezentowanym w literaturze.

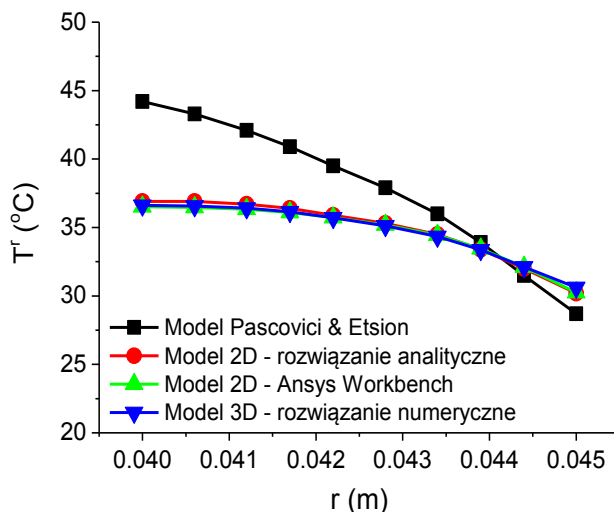
Przedstawione przeze mnie wyniki porównawcze pomiędzy modelem opublikowanym przez Pascovici i Etsion z rozwiązaniami z programu komercyjnego Ansys Workbench oraz rozwiązaniem wyznaczonym przeze mnie dowodzą, że

zaproponowany dwuwymiarowy model wymiany ciepła w uszczelnieniu typu *face-to-face* jest dużo bardziej dokładny, co zobrazowano na Rys. 5.

Kolejną pracą ze znaczącym moim udziałem dotyczącą omawianej tematyki, w której przedstawiono i rozwiązano model wymiany ciepła dla obydwu pierścieni uszczelniających oraz równania energii z uwzględnieniem szeregu warunków brzegowych jest publikacja [A3]. W modelu przyjęto, że ciepło generowane w warstwie medium jest odprowadzone do otoczenia, głównie drogą przewodzenia przez pierścienie i dalej drogą konwekcji swobodnej do otaczającego medium. Przyjęto osiowo symetryczne warunki wymiany ciepła i stałe współczynniki przewodzenia ciepła, rozkład temperatury w pierścieniach uszczelniających opisywano równaniami różniczkowymi Laplace'a osobno dla każdego z pierścieni. Rozwiązanie przedstawione w tym artykule było oryginalne ze względu na metodę wyznaczenie stałych współczynników polegającą na analitycznym rozwiązaniu szeregu całek oznaczonych z zastosowaniem funkcji Struvego. Uszczelnienia bezстыkowe z uwagi na swą specyficzną konstrukcję oraz zróżnicowane warunki pracy stają się newralgicznymi elementami węzłów uszczelniających w wysoce odpowiedzialnych maszynach i urządzeniach. Zaprezentowane analityczne rozwiązanie złożonego modelu matematycznego posłużyło do przeprowadzenia szeregu analiz oraz do osiągnięcia głównego celu polegającego na ustaleniu wpływu parametrów geometrycznych i eksploatacyjnych na rozkłady temperatury w elementach bezстыkowego uszczelnienia czołowego. Prezentowane rozwiązanie stanowi podstawę do przeprowadzenia dalszych badań dotyczących deformacji termicznych oraz ich wpływu na dynamikę układu pierścieni. Kolejnym ważnym punktem stanowiącym o oryginalności omawianej publikacji było zaproponowanie przez współtwórców artykułu metody pomiaru temperatury oraz oryginalnego układu sterowania z użyciem innowacyjnych napędów piezoelektrycznych.

Zastosowanie metod analitycznych do rozwiązywania modeli matematycznych opisujących wymianę ciepła w bezстыkowych uszczelnieniach czołowych pozwala na dobre rozpoznanie tych zjawisk. Ograniczenia tej metody obliczeniowej polegają jednak na konieczności stosowania daleko idących założeń upraszczających, które nie pozostają bez wpływu na dokładność otrzymywanych wyników. Kolejnym ograniczeniem jest brak możliwości przeprowadzania analiz dla trójwymiarowych modyfikacji bieżni pierścieni uszczelniających, w szczególności modyfikacji w postaci spiralnych wyżłobień, teksturowania, czy komór o określonej orientacji przestrzennej. Zastosowanie metod i algorytmów numerycznych w dużym stopniu niweluje te ograniczenia. Kolejne dwie publikacje z moim udziałem, jako współautora zawierają numeryczne rozwiązania wzajemnie sprzężonych równań prędkości

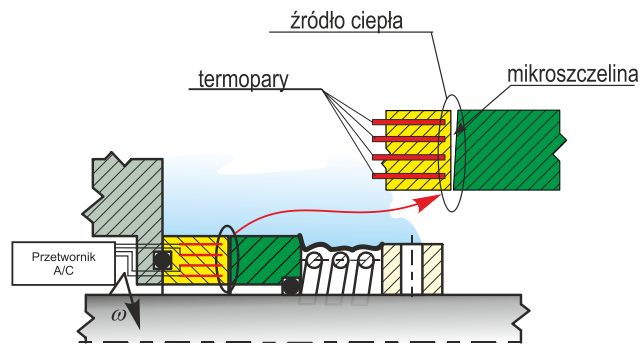
przepływu medium przez szczelinę, równania energii dla medium nieściśliwego oraz równań przewodnictwa ciepła dla pierścieni uszczelniających wraz z warunkami brzegowymi odzwierciedlającymi wymianę ciepła z otaczającym medium. Trójwymiarowy termohydrodynamiczny model bezstykowego uszczelnienia czołowego oraz wyniki z jego numerycznego rozwiązania w oparciu o opracowany przeze mnie autorski program komputerowy w języku C++ zawarto w pracach [A4] i [A5]. Program ten bazuje na algorytmie, który można scharakteryzować następująco: przyjęto, że początkowy rozkład temperatury w szczelinie promieniowej oraz w pierścieniach uszczelniających jest znany, a temperatura równa jest temperaturze otaczającego medium T_0 . W następnym kroku wyznaczane są: wysokość szczeliny promieniowej, wartości ciśnienia i lepkość dynamiczna płynu w szczelinie oraz składowe prędkości przepływu w kierunku poszczególnych osi walcowego układu współrzędnych. Na tej podstawie z równania energii obliczany jest rozkład temperatury medium, jak również rozwiązywane są równania przewodnictwa ciepła z uwzględnieniem właściwych warunków brzegowych. Ten krok powtarzany jest dopóki rozkład temperatury nie zostanie wyznaczony z zadaną dokładnością. Kolejny etap stanowi powtórzenie powyższej procedury na kolejnej warstwie czasowej. Opisany algorytm rozwiązania numerycznego stanowi fragment złożonego algorytmu komputerowego obejmującego również rozwiązywanie równań dynamiki i wyznaczanie wartości przemieszczeń pierścienia podatnie zamocowanego w obudowie w zależności od zadanych warunków geometrycznych i eksploatacyjnych. Do rozwiązania równań o pochodnych cząstkowych zastosowałem metodę objętości skończonej (FVM). Ponadto przy rozwiązywaniu równania energii wprowadziłem warunek brzegowy zakładający zadany rozkład temperatury na granicy warstewki medium w szczelinie z otaczającym medium. Omówiony program stanowi obszerne narzędzie umożliwiające przeprowadzanie analiz parametrycznych wymiany ciepła uwzględniających geometrię pierścieni uszczelniających, warunki pracy i rodzaje materiałów na pierścienie uszczelniające. Na Rys. 6 przedstawiono porównanie wyników rozkładu temperatury na powierzchni rotora dla omówionych rozwiązań modeli matematycznych.



Rys. 6. Porównanie rozkładów temperatury w rotorze.

Głównym celem przeprowadzonych obliczeń numerycznych w obu omawianych artykułach było ustalenie wpływu parametrów eksploatacyjnych i geometrycznych zastosowanych modyfikacji powierzchni czołowych na rozkłady temperatury w warstewce medium oraz w elementach bezstykowego uszczelnienia czołowego.

Analizując szereg prac, w których opublikowano rezultaty otrzymane na podstawie badań eksperymentalnych można zauważyć, że w większości prac pomiar temperatury w jednym z pierścieni uszczelniających (statorze) dokonuje się metodami bezpośrednimi z użyciem termopar. Umieszczawiane są one zazwyczaj w niewielkiej odległości od powierzchni czołowej pierścienia graniczącej z warstewką czynnika roboczego w szczelinie. Takie umiejscowienie pozwala na wyznaczenie temperatury w pobliżu powierzchni czołowej oraz określenia przybliżonej wartości strumienia ciepła generowanego w szczelinie bezstykowego uszczelnienia czołowego. Znane są również przypadki usytuowania termopar na różnej wysokości, celem oszacowania rozkładu temperatury w przekroju pierścienia. W wyniku tych obserwacji powstał pomysł opracowania metody umożliwiającej wyznaczenie rozkładów temperatury w przekroju pierścienia nie tylko tego, w którym mierzona była temperatura z użyciem termopar, ale również w sposób pośredni w pierścieniu obrotowym. Konceptcję opracowanej metody zobrazowano na Rys. 7.



Rys. 7 Schemat uszczelnienia czołowego z lokalizacją termopar.

Problem wymiany ciepła w bezstykowym uszczelnieniu czołowym z wykorzystaniem dwóch metod rozwiązano w artykule [A6]. Pierwsza, metoda analityczna opierała się na rozdzieleniu zmiennych w cząstkowym równaniu różniczkowym opisującym wymianę ciepła w układzie walcowym. W konsekwencji uzyskano zwyczajne równania różniczkowe, które posiadają rozwiązania w postaci szeregów Bessel'a. Rozwiązanie takie można uzyskać, jeśli znane są odpowiednie warunki brzegowe (zagadnienie proste). W przypadku, gdy przynajmniej jeden z warunków brzegowych nie jest znany występuje brzegowe zagadnienie odwrotne. Taka sytuacja pojawia się na przykład, gdy na jednym z brzegów obszaru nie jest możliwy pomiar temperatury i nie można określić strumienia ciepła. Dlatego w pracy zaproponowano drugą metodę określenia pola temperatury, pozwalającą rozwiązywać zarówno proste, jak i odwrotne zagadnienia wymiany ciepła. Metoda ta opiera się na funkcjach Trefftza dla rozważanego równania różniczkowego. Metoda ta jest obecnie dość dobrze rozpoznana dla szerokiej klasy liniowych równań różniczkowych cząstkowych w rozmaitych układach współrzędnych. Dla danego równania różniczkowego wyznacza się kompletny zbiór funkcji spełniających w sposób ścisły to równanie (funkcje Trefftza), a rozwiązanie przybliżane jest kombinacją liniową funkcji Trefftza. Współczynniki kombinacji liniowej wyznaczone są w taki sposób, aby warunki brzegowe spełnione były w sposób najlepszy (zwykle w sensie metody najmniejszych kwadratów). Mając na względzie szeroki przegląd literatury można stwierdzić, że metoda Trefftza charakteryzuje się dużą skutecznością w rozwiązywaniu szczególnie odwrotnych zagadnień brzegowych opisanych równaniami różniczkowymi. Zastosowanie w omawianej pracy [A6] funkcji Trefftza oraz opracowane w oparciu o tę metodę algorytmy obliczeniowe pozwalają na wyznaczenie rozkładów temperatury w obu pierścieniach uszczelniających dla zagadnienia odwrotnego. Otrzymane wyniki zostały porównane z wynikami uzyskanymi na podstawie rozwiązania zagadnienia prostego przy określonych parametrach geometrycznych i eksploatacyjnych, zamodelowanego bezstykowego

uszczelnienia czołowego (typu FMR). Duża zgodność otrzymanych rezultatów świadczyć może o skuteczności opracowanej metody oraz możliwości jej wykorzystywania przy opracowywaniu wyników z badań stanowiskowych.

Kolejnym problemem w obszarze modelowania procesów wymiany ciepła w bezstykowych uszczelnieniach czołowych było zastosowanie rachunku ułamkowego rzędu, który posłużył do znacznie dokładniejszego opisu zjawisk termicznych.

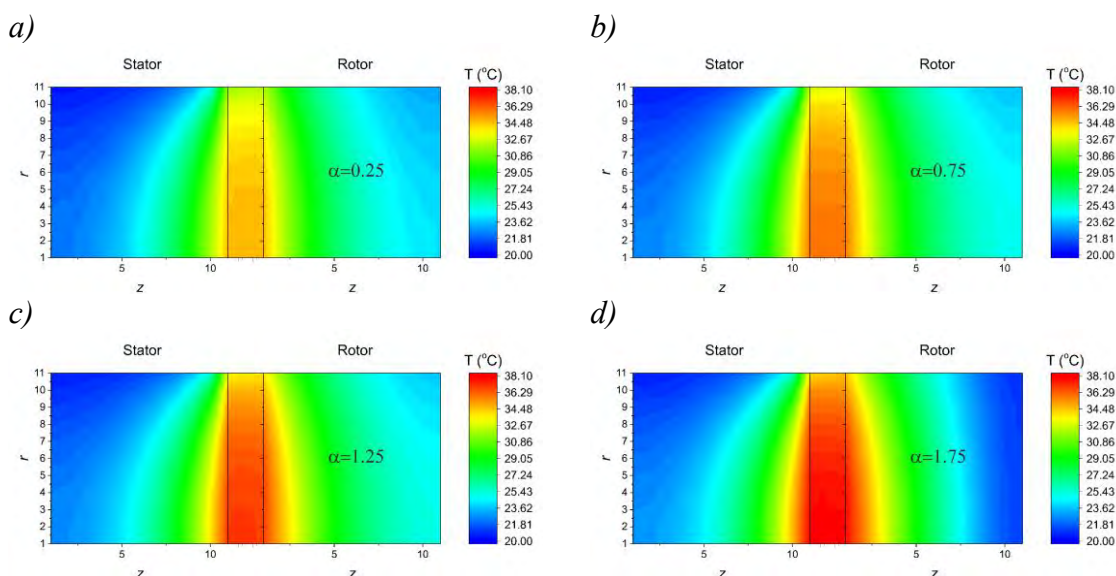
Prace badawcze dotyczące modelowania ułamkowego rzędu trwają od wielu lat. Początek rachunku niecałkowitego rzędu sięga XVII wieku i dotyczy listu Leibniza do de L'Hospitala, w którym padło historyczne pytanie dotyczące operacji różniczkowania rzędu $\frac{1}{2}$. Znaczący wzrost zainteresowania praktycznymi zastosowaniami rachunku różniczkowego ułamkowego rzędu nastąpił w drugiej połowie XX wieku. Wynikało to z jego doskonałej przydatności w konstruowaniu dokładniejszych, czyli bliższych rzeczywistym obserwacjom, modeli matematycznych różnorodnych zjawisk fizycznych.

Rachunek różniczkowy niecałkowitego rzędu znalazł zastosowanie w modelowaniu: złożonych układów nieliniowych, super kondensatorów, układów elektrycznych, filtrów elektrycznych, układów regulacji w tym regulatorów ułamkowego rzędu, zjawisk relaksacji dielektryków, zjawisk lepko-sprężystości, zjawisk dyfuzji, w fizyce cząstek elementarnych. Powstały również prace związane ściśle z nagrzewaniem oraz przewodzeniem ciepła i termosprężystością.

Nawiązując do tej tematyki został przeze mnie opracowany i zaprezentowany w pracy [A7], model wymiany ciepła dla pierścienia obrotowego, w którym dla klasycznego równania Fouriera, pochodną temperatury po czasie $\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)$ zamieniono na pochodną ułamkowego rzędu postaci $\left(\frac{\partial^\alpha T}{\partial t^\alpha}\right)$, gdzie dla $t > 0$, $n-1 < \alpha < n$. Takie podejście było zaproponowane po raz pierwszy w odniesieniu do bezstykowych uszczelnień czołowych. Był to pierwszy artykuł w literaturze światowej, gdzie zastosowano rachunek różniczkowy niecałkowitego rzędu w modelowaniu wymiany ciepła dla bezstykowych uszczelnień czołowych.

Przedstawiony model matematyczny rozwiązano z użyciem metod analitycznych. Do rozwiązania równania Fouriera ułamkowego rzędu względem czasu dla rotora, zastosowano kolejno transformatę całkową: Marchi–Zgrablich, skończoną transformatę cosinusową Fouriera oraz transformatę Laplace'a dla pochodnej ułamkowego rzędu po czasie oraz zależności na ich transformaty odwrotne. W wyniku obliczeń algebraicznych otrzymano końcową zależność opisującą rozkład temperatury

w przekroju pierścienia obrotowego. Przykładowe wyniki przedstawiono na Rys. 8.



Rys. 8. Rozkłady temperatury w warstwie medium i pierścieniach uszczelniających dla $t=1$ (s): a) $\alpha=0,25$, b) $\alpha=0,75$, c) $\alpha=1,25$, d) $\alpha=1,75$.

Analizując wyniki przedstawione w moim autorskim artykule [A7] zwróciłem uwagę, że przy projektowaniu węzłów uszczelniających (zawierających bezstykowe uszczelnienia czołowe) oprócz własności fizyko-chemicznych materiałów, z jakich wykonane są pierścienie robocze należy wziąć pod uwagę wpływ wymiarów geometrycznych wałów maszyn wirnikowych. W przypadku zastosowania bezstykowych uszczelnień czołowych o dużych średnicach pierścieni uszczelniających, prędkość liniowa na powierzchni pierścienia obrotowego, może osiągać znaczne wartości, prowadząc w efekcie do generowania dużych strumieni ciepła. Konieczne jest wówczas stosowanie materiałów na pierścieniu o dużej intensywności odprowadzania strumienia ciepła do otoczenia ze strefy o podwyższonej temperaturze. Wyniki takich badań zamieszczono w artykule [A8]. W omawianym artykule zaprezentowano konstrukcję oraz model matematyczny bezstykowego uszczelnienia czołowego z całkowicie odizolowanym od otoczenia statorem. Oznaczało to, że cały strumień ciepła wygenerowany w warstwie rozdzielającej pierścienie musiał być odprowadzony do otaczającego czynnika po stronie procesowej, praktycznie tylko przez jeden z pierścieni roboczych – rotor.

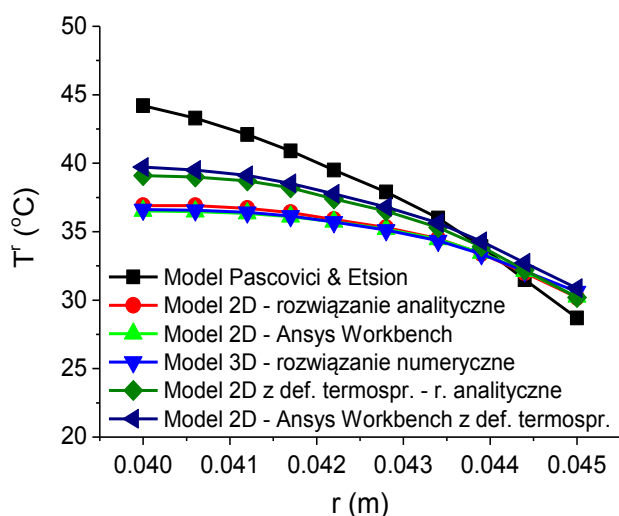
Dokonując przeglądu literatury związanej z tematyką wymiany ciepła w bezstykowych uszczelnieniach czołowych zauważyłem, że zazwyczaj przyjmowany był przez autorów, quasi ustalony przepływ temperatury pomiędzy warstwą medium a pierścieniami uszczelniającymi. Oznacza to pominięcie (w tych rozważaniach) fazy rozruchowej, bądź zatrzymania urządzenia. W tych fazach pracy urządzeń, w których zastosowano bezstykowe uszczelnienia czołowe następuje niekorzystny a zarazem nieodzowny styk powierzchni czołowych zapewniający szczelność urządzenia w

czasie postoiu. Następstwem zetknięcia się współpracujących powierzchni czołowych jest gwałtowny wzrost temperatury, co w konsekwencji może prowadzić do występowania tzw. szoku termicznego. Szok termiczny, oprócz uderzeń mechanicznych jest drugą, główną przyczyną powstawania pęknięć i defektów pierścieni uszczelniających. Rozpoznanie mechanizmu powstawania tego zjawiska jest jednym z ważniejszych kierunków badań w dziedzinie bezstykowych uszczelnień czołowych.

Kolejnym problemem, który uwidacznia się przy konstruowaniu modeli matematycznych bezstykowych uszczelnień czołowych jest powiązanie teorii przewodzenia ciepła z teorią sprężystości. Związane jest to ze specyfiką pracy tego rodzaju węzłów uszczelniających. Elementy konstrukcyjne bezstykowych uszczelnień czołowych są narażone na działanie podwyższonej temperatury, wysokiego ciśnienia, pracują w warunkach radiacji, dyfuzji oraz mogą pracować w silnym polu magnetycznym. Badanie wpływu temperatury na deformacje ciała stałego (w tym przypadku pierścieni uszczelniających) stało się tematem kolejnych dwóch artykułów [A9] i [A10]. Liczne badania prezentowane w literaturze światowej wskazują, że wysokość szczeliny promieniowej przy prawidłowej bezstykowej pracy uszczelnienia waha się na poziomie jednego do kilku mikrometrów. Ten wyidealizowany stan drastycznie ulega zmianie pod wpływem działania temperatury, czego dowodzą liczne badania eksperymentalne. W pracy [A10] mojego autorstwa skupiłem się na analitycznym rozwiązaniu osiowosymetrycznego problemu termosprężystości dla pierścieni roboczych uszczelnienia bezstykowego poddanych działaniu temperatury. Podjęcie tematu pracy wynikało z wymogów konstrukcyjnych stawianych uszczelnieniom bezstykowym polegających na założeniu, że szczelina promieniowa wypełniona jest medium roboczym, a jej wysokość powinna pozostać na poziomie ok. jednego mikrometra. Utrzymanie tego założenia może okazać się trudne do osiągnięcia z uwagi na liczne czynniki zaburzające działające na bezstykowe uszczelnienia czołowe podczas pracy. Do czynników pogarszających stabilną pracę uszczelnienia można zaliczyć m.in. zaburzenie równowagi sił działających na współpracujące pierścienie, które może być wywołane deformacjami termicznymi.

Rozwiązanie opisywanego modelu przeprowadziłem z użyciem metod analitycznych. Rozkłady pól temperatur w pierścieniach uszczelniających wyznaczyłem za pomocą szeregów Fouriera-Bessela, jako funkcji powierzchniowych dwóch zmiennych (r, θ) dla przekroju pierścienia. Rozwiązanie zagadnienia termosprężystości opisanego równaniami Naviera, dokonałem z zastosowaniem harmonicznym funkcji Bussinesqa i funkcji potencjału termosprężystego przemieszczenia (funkcji Goodiera).

Proponowana metoda rozwiązania jest bardzo obszerna i obejmowała wiele teoretycznych i praktycznych problemów, które uwzględniono i opisano w pracy [A10] przedstawiając rozwiązanie zagadnień termosprężystości w uszczelnieniach bezstykowych. Wyznaczone pola temperatur oraz naprężeń termicznych porównano z wynikami uzyskanymi na podstawie rozwiązań numerycznych prezentowanych w pracy [A9]. Opracowane rozwiązanie złożonego modelu matematycznego posłużyło do przeprowadzenia analiz mających na celu ustalenie wpływu wybranych parametrów na zmienność pól temperatur w elementach bezstykowego uszczelnienia czołowego oraz określenia wartości deformacji termicznych.



Rys. 9. Porównanie rozkładów temperatury w rotorze.

Na Rys. 9 przedstawiono wyniki analiz rozkładu temperatury na powierzchni rotora dla wszystkich opublikowanych rozwiązań modeli wymiany ciepła w bezstykowych uszczelnieniach czołowych. Na tym przykładzie można zauważyć, że różnice pomiędzy modelami 2D i 3D rozwiązanymi numerycznie bądź analitycznie są niewielkie. Istotna zmiana jest widoczna jeżeli model uwzględnia deformacje termosprężyste pierścieni uszczelniających. Zmiana kształtu szczeliny promieniowej wywołuje wzrost generowanego w warstwie medium strumienia ciepła, co przekłada się globalnie na podwyższenie temperatury w całym zamodelowanym układzie pierścieni uszczelniających.

Przedstawiony dorobek naukowy w zakresie badań podstawowych dotyczących bezstykowych uszczelnień czołowych stanowi punkt wyjścia do rozpoznania w szerszej perspektywie zagadnień termosprężystości i ich wpływu na dynamikę pierścieni uszczelniających.

Podsumowanie i wnioski ogólne

W pracy badawczej zajmowałem się głównie badaniami modelowymi związanymi tematycznie ze zjawiskami fizycznymi występującymi w czasie pracy bezstykowych uszczelnień czołowych. Główny cel prowadzonych przeze mnie badań polegał na określeniu wpływu zjawisk termosprężystości na parametry pracy bezstykowych uszczelnień czołowych.

Wnioski szczegółowe związane z omawianymi zagadnieniami były formułowane na bieżąco w poszczególnych artykułach stanowiących monotematyczny cykl publikacji naukowych. Dlatego w tym miejscu ograniczę się do przedstawienia wniosków ogólnych wynikających z rozważań zawartych w kolejnych pracach.

1. Sformułowano dyskretno-ciągły model matematyczny bezstykowego uszczelnienia czołowego smarowanego gazem. Model ten jest na tyle ogólny, że można go adaptować do różnych wariantów konstrukcyjnych bezstykowego uszczelnienia czołowego. Na podstawie modelu opracowano algorytm rozwiązania oraz autorski program komputerowy w języku C++. W programie tym istnieje możliwość przeprowadzania numerycznych badań porównawczych dla różnych rodzajów modyfikacji powierzchni czołowych pierścieni uszczelniających. Zaproponowana metoda modelowania (opisu) mikrostruktur na powierzchniach pierścieni uszczelniających, może być rozszerzona i wykorzystana na inne, dowolnie zaprojektowane modyfikacje. Ponadto opracowany program komputerowy może stać się przydatnym narzędziem wspomagającym prace projektowe i badania eksperymentalne. Efektem mojej pracy było opublikowanie otrzymanych wyników w artykule A1.
2. Dalsza tematyka moich prac dotyczyła wymiany ciepła w bezstykowych uszczelnieniach czołowych. Zaproponowałem oryginalne rozwiązanie analityczne modelu matematycznego ze względu na metodę wyznaczania stałych współczynników, polegającą na rozwiązaniu całek oznaczonych z zastosowaniem funkcji Struvego. Opracowałem również rozwiązanie matematycznego modelu termohydrodynamicznego wymiany ciepła dla uszczelnienia typu *face to face*, które porównałem z rozwiązaniem zaproponowanym przez Pascovici i Etsion. Wyniki analiz przedstawiono na rys. 5. Przeprowadzone badania modelowe pozwoliły na opracowanie wniosków praktycznych dotyczących związku

pomiędzy geometrią, warunkami pracy a rozkładem temperatury w pierścieniach uszczelniających, co przedstawiono w pracach A2, A3 i A8.

3. Zastosowanie metod analitycznych do rozwiązywania modeli matematycznych opisujących wymianę ciepła w bezstykowych uszczelnieniach czołowych pozwala na dobre rozpoznanie tych zjawisk. Ograniczenia tej metody obliczeniowej polegają jednak na konieczności stosowania założeń upraszczających, które nie pozostają bez wpływu na dokładność otrzymywanych wyników. W efekcie dalszych prac przeprowadziłem rozwiązanie przestrzennego termohydrodynamicznego modelu matematycznego bezstykowego uszczelnienia czołowego w oparciu o autorski algorytm rozwiązania numerycznego oraz opracowałem własny program komputerowy w języku C++. Porównanie otrzymanych wyników z wynikami z rozwiązania modelu dwuwymiarowego przedstawiono na rys. 6. Omówiony autorski program komputerowy stanowi obszerne narzędzie umożliwiające przeprowadzanie analiz parametrycznych wymiany ciepła uwzględniających: geometrię pierścieni uszczelniających wraz z geometrycznymi modyfikacjami powierzchni czołowych, warunkami pracy oraz rodzajami materiałów użytych na pierścienie uszczelniające. Wyniki tych prac zostały opublikowane w artykułach A4 i A5.
4. Na podstawie przeglądu literatury związanego z badaniami eksperymentalnymi dotyczącymi wyznaczenia rozkładu temperatury w pierścieniach uszczelniających zauważyłem, że temperatura mierzona jest zazwyczaj tylko w pierścieniu nie obracającym się. Problem stanowi wyznaczenie temperatury w pierścieniu obrotowym. W wyniku tych obserwacji zaproponowałem zastosowanie odwrotnego zagadnienia brzegowego do rozwiązania tego problemu z użyciem funkcji Trefftza. O oryginalności zaproponowanej przeze mnie metody rozwiązania (artykuł A6), która pozwala na wyznaczenie rozkładów temperatury w obu pierścieniach uszczelniających świadczy fakt, że nie była ona wcześniej stosowana w odniesieniu do uszczelnień bezstykowych.
5. Kolejnym oryginalnym pomysłem mojego autorstwa było opracowanie i rozwiązanie modelu wymiany ciepła dla pierścienia obrotowego, w którym dla klasycznego równania Fouriera, pochodną temperatury po czasie zamieniono na pochodną ułamkowego rzędu. Takie podejście było zaproponowane po raz pierwszy w odniesieniu do bezstykowych uszczelnień czołowych. Przedstawiony model matematyczny rozwiązałem z użyciem metod analitycznych w oparciu o

transformaty całkowe. Zastosowanie rachunku ułamkowego rzędu posłużyło do dokładniejszego opisu zjawisk termicznych zachodzących w węźle uszczelniającym, co przedstawiono w pracy A7.

6. W toku dalszej pracy naukowej opracowałem analityczne rozwiązanie osiowosymetrycznego problemu termosprężystości dla pierścieni roboczych uszczelnienia bezstykowego poddanych działaniu temperatury. Rozwiązanie opisywanego modelu przeprowadziłem z użyciem metod analitycznych. Rozkłady pól temperatury w pierścieniach uszczelniających wyznaczyłem za pomocą szeregów Fouriera-Bessela, jako funkcji powierzchniowych dwóch zmiennych (r, θ) dla przekroju pierścienia. Rozwiązanie zagadnienia termosprężystości opisanego równaniami Naviera, dokonałem z zastosowaniem harmonicznym funkcji Bussinesqa i funkcji potencjału termosprężystego przemieszczenia (funkcji Goodiera). Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie utylitarnego związku pomiędzy geometrią szczeliny promieniowej a rozkładem temperatury w pierścieniach uszczelniających. Wyniki tych badań zamieszczono w pracach A9 i A10.

Oryginalne metody rozwiązania oraz opracowane własne algorytmy obliczeniowe i programy komputerowe mogą być przydatnymi narzędziami w projektowaniu bezstykowych uszczelnień czołowych, co przełoży się na ich trwałość i niezawodność, które będą potwierdzone badaniami eksperymentalnymi w przyszłościowych pracach autora.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

5.1. Publikacje naukowe w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR) po uzyskaniu stopnia doktora nie wchodzące w skład osiągnięcia naukowego wymienionego w punkcie 4a

1. Takosoglu, J. E., Laski, P. A., Błasiak, S.: *A fuzzy logic controller for the positioning control of an electro-pneumatic servo-drive*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering 226(10) (2012), pp. 1335–1343.
2. Laski, P. A., Takosoglu, J. E., Błasiak, S.: *Design of a 3-DOF tripod electro-pneumatic parallel manipulator*, Robotics and Autonomous Systems 72 (2015), pp. 59–70.
3. Takosoglu, J. E., Laski, P. A., Błasiak, S., Bracha, G., Pietrala, D.: *Determining the Static Characteristics of Pneumatic Muscles*, MEASUREMENT & CONTROL 49(2) (2016), pp. 62–71.

5.2. Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazach lub na listach, o których mowa w punktach 4B i 5.1

a) rozdziały w monografiach

1. Błasiak, S., Kundera, C.: *An analysis of heat transfer in non-contacting face seals with modified surfaces of sliding rings*: Science Report, Project PI-0007, CEEPUS - Geometrical Product Specification - a New Tendency in the Design and Realization of Technological Processes (2008), pp. 47–52.
2. Łaski, P., Błasiak, S., Dindorf, R., Takosoglu, J., Woś, P.: *Projekt i konstrukcja manipulatora o zamkniętym łańcuchu kinematycznym z napędem mięśniowym typu DELTA*: Postępy Automatyki i Robotyki, KAiR PAN (2012), pp. 492–499.
3. Błasiak, S., Łaski, P., Takosoglu, J.: *Badania symulacyjne półaktywnych uszczelnień bezstykowych*: Postępy Automatyki i Robotyki, KAiR PAN (2012), pp. 139–146.
4. Takosoglu, J., Błasiak, S., Dindorf, R., Łaski, P., Woś, P.: *Projekt układu sterowania trzysosiowego szeregowego manipulatora elektropneumatycznego*: Postępy Automatyki i Robotyki, KAiR PAN (2012), pp. 544–557.
5. Błasiak, S., Kundera, C., Bochnia, J.: *Model sterowania uszczelnieniem bezstykowym przy zastosowaniu sztucznej sieci neuronowej*: Postępy Automatyki i Robotyki, KAiR PAN (2012), pp. 261–269.

6. Łaski, P., Błasiak, S., Dindorf, R., Takosoglu, J., Woś, P.: ***Projekt układu sterowania z logiką rozmytą dla trzyosiowego manipulatora o kinematyce równoległej typu tripod***: Postępy Automatyki i Robotyki, KAiR PAN (2012), pp. 500–514.
7. Pietrala Dawid, Bracha Gabriel, Łaski Paweł, Takosoglu Jakub, Błasiak Sławomir: ***Design of camera positioning device based on spherical manipulator applied to mobile unmanned objects***: Scientific Aspects of Unmanned Mobile Objects (2014), pp. 108–123.
8. Błasiak, S., Bochnia, J.: ***Reverse engineering in maintenance and manufacturing processes***: Selected Problems of Mechanical Engineering and Maintenance M29 (2012), pp. 43–51.

b) Materiały z konferencji międzynarodowych (zarejestrowane w Web of Science)

1. Błasiak, S., Takosoglu, J. E., Łaski, P. A.: ***Optimizing the flow rate in a pneumatic directional control valve***, in: V. Fuis (Ed.), ENGINEERING MECHANICS 2014, ACAD SCI CZECH REPUBLIC, INST THERMOMECHANICS, DOLEJSKOVA 5, PRAGUE 8, 182 00, CZECH REPUBLIC, 2014, pp. 96–99.
2. Takosoglu, J. E., Łaski, P. A., Błasiak, S.: ***Innovative modular pneumatic valve terminal with self-diagnosis, control and network communications***, in: V. Fuis (Ed.), ENGINEERING MECHANICS 2014, ACAD SCI CZECH REPUBLIC, INST THERMOMECHANICS, DOLEJSKOVA 5, PRAGUE 8, 182 00, CZECH REPUBLIC, 2014, pp. 644–647.
3. Łaski, P. A., Takosoglu, J. E., Błasiak, S.: ***A delta type closed kinematics chain with pneumatic muscle actuator manipulator***, in: V. Fuis (Ed.), ENGINEERING MECHANICS 2014, ACAD SCI CZECH REPUBLIC, INST THERMOMECHANICS, DOLEJSKOVA 5, PRAGUE 8, 182 00, CZECH REPUBLIC, 2014, pp. 360–363.
4. Błasiak, S.: ***Heat conduction problem in non-contacting face seals***, in: I. Zolotarev, V. Radolf (Eds.), ENGINEERING MECHANICS 2016, ACAD SCI CZECH REPUBLIC, INST THERMOMECHANICS, DOLEJSKOVA 5, PRAGUE 8, 182 00, CZECH REPUBLIC, 2016, pp. 70–73.
5. Bochnia, J., Błasiak, S.: ***Anisotropy of mechanical properties of a material which is shaped incrementally using polyjet technology***, in: I. Zolotarev, V. Radolf (Eds.), ENGINEERING MECHANICS 2016, ACAD SCI CZECH REPUBLIC, INST THERMOMECHANICS, DOLEJSKOVA 5, PRAGUE 8, 182 00, CZECH REPUBLIC, 2016, pp. 74–77.

6. Piasecka, M., Błasiak, S., Musiał, T.: *Numerical calculations of the thermal deformations of the rectangular minichannel walls*, in: EPJ Web of Conferences, 2016.

c) Publikacja w recenzowanych czasopismach wymienionym w wykazie ministra MNiSzW (część B)

1. Błasiak, S., Musiał, T., Piasecka, M., Strąk, K.: *Thermal stresses in the heated wall of the minichannel*, Measurement Automation Monitoring 62(1) (2016), pp. 22–25
2. Takosoglu Jakub, Łaski Paweł, Błasiak Sławomir: *Manipulator o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu Delta z pneumatycznym napędem mięśniowym*, Pneumatyka Przemysłowe Systemy Sprężonego Powietrza 4(85) (2012), pp. 35–41.
3. Błasiak, S., Kundera, C.: *Wpływ warunków eksploatacji na własności cieplne bezstykowego uszczelnienia czołowego*, Tribologia 6 (2011), pp. 41–51.
4. Błasiak, S., Kundera, C.: *Analiza wymiany ciepła w pierścieniach uszczelniających*, Tribologia 6 (2011), pp. 29–39.
5. Adamczak, S., Błasiak, S., Bochnia, J.: *Pomiary wielkości geometrycznych modeli kształtowanych przyrostowo z zastosowaniem skanera 3D*, Mechanik 87(8-9CD1) (2014), pp. 17–25.

d) publikacje w materiałach konferencyjnych

1. Takosoglu, J., Błasiak, S., Dindorf, R., Łaski, P.: *Projekt i budowa trzyosiowego manipulatora elektropneumatycznego układzie kartezjańskim*: Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej 17 (2012), pp. 167–175.
2. Pietrała, D., Bracha, G., Łaski, P., Takosoglu, J., Błasiak, S.: *Projekt manipulatora równoległego o sześciu stopniach swobody z pneumatycznym napędem mięśniowym*, Pneumatyka 3/4(88/89) (2013), p. 36–36.
3. Takosoglu, J., Łaski, P., Błasiak, S., Bracha, G., Pietrała, D.: *Camera positioner design, based on spherical manipulator with three degrees of freedom with use of unmanned flying objects*: 5th International Conference on Scientific Aspects of Unmanned Mobile Objects (2013), p. 76–76.
4. Łaski, P., Błasiak, S., Dindorf, R., Takosoglu, J.: *Projekt przestrzennego manipulatora równoległego typu Delta z napędem mięśniowym*: Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej 17 (2012), pp. 80–88.
5. Takosoglu, J., Błasiak, S., Łaski, P.: *Pozycjonowanie serwonapędów pneumatycznych*: IX Konferencja - Nowe kierunki rozwoju mechaniki, PTMTS (2011), pp. 64–65.

6. Takosoglu, J., Łaski, P., Błasiak, S., Bracha, G., Pietrala, D.: *The concept of the use of unmanned air vehicle powered with electric drive*: 5th International Conference on Scientific Aspects of Unmanned Mobile Objects (2013), p. 24–24.
7. Łaski, P., Błasiak, S., Takosoglu, J.: *An Application of a Pneumatic Muscles Actuator for a Delta Pneumatic Manipulator*: Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Mechanical Series LX(2) (2014), pp. 43–50.
8. Pawińska, A., Błasiak, S.: *Temperature identification in the structural elements of non-contacting face seals by using trefftz functions*: Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Mechanical Series LX(2) (2014), pp. 51–55.
9. Takosoglu, J., Łaski, P., Błasiak, S.: *Design of the Modular Pneumatic Valve Terminal*: Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Mechanical Series LXI(2) (2015), pp. 53–61.
10. Błasiak, S., Takosoglu, J., Łaski, P.: *Flow Rate Analysis of 3/2 Directional Pneumatic Valve by Means Of Ansys Cfx Software*: Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Mechanical Series LX(2) (2014), pp. 1–6.
11. Takosoglu, J., Łaski, P., Błasiak, S., Bracha, G., Pietrala, D., Sławski, S., Życiński, E.: *Mobile robot with a caterpillar drive system*: 5th International Conference on Scientific Aspects of Unmanned Mobile Objects (2013), p. 85–85.
12. Takosoglu, J., Łaski, P., Błasiak, S., Bracha, G., Pietrala, D., Sławski, S., Życiński, E.: *Pneumatic spider mobile robot*: 5th International Conference on Scientific Aspects of Unmanned Mobile Objects (2013), p. 57–57.
13. Takosoglu, J., Łaski, P., Błasiak, S., Kogut, R., Bracha, G., Pietrala, D.: *Projekt systemu SCADA dla wybranego procesu produkcyjnego z zastosowaniem sterownika PLC*, Pneumatyka 2(87) (2013), p. 7–7.
14. Błasiak, S., Łaski, P., Takosoglu, J.: *Konstrukcje uszczelnień bezstykowych*, Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie 6(45) (2011), pp. 40–43.
15. Takosoglu, J., Błasiak, S., Dindorf, R., Łaski, Ł., Woś, P.: *Mięśniowy układ napędowy manipulatora równoległego typu Delta*: XVII Krajowa Konferencja Automatyki KKA'2011 (2011), pp. 221–222.
16. Takosoglu, J., Błasiak, S., Dindorf, R., Łaski, P.: *Mięśniowy układ napędowy*, Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie (2011), pp. 58–63.
17. Takosoglu, J., Błasiak, S., Dindorf, R., Łaski, P., Woś, P.: *Metody sterowania szeregowych manipulatorów elektropneumatycznych*: XVII Krajowa Konferencja Automatyki KKA'2011 (2011), pp. 219–220.

18. Łaski, P., Błasiak, S., Dindorf, R., Takosoglu, J., Woś, P.: *Projekt i konstrukcja manipulatora o zamkniętym łańcuchu kinematycznym z napędem mięśniowym typu DELTA*: XVII Krajowa Konferencja Automatyki KKA'20011 (2011), pp. 209–210.
19. Błasiak, S., Łaski, P., Takosoglu, J.: *Półaktywne uszczelnienia bezstykowe – badania symulacyjne*: Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej 17 (2011), pp. 19–27.
20. Łaski, P., Błasiak, S., Dindorf, R., Takosoglu, J.: *Manipulator typu DELTA o zamkniętym łańcuchu kinematycznym z napędem mięśniowym*, Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie 6 (2011), pp. 20–28.
21. Łaski, P., Błasiak, S., Dindorf, R., Takosoglu, J., Woś, P.: *Projekt układu sterowania z logiką rozmytą dla trzyosiowego manipulatora o kinematyce równoległej typu Tripod*: XVII Krajowa Konferencja Automatyki KKA'2011 (2011), pp. 211–212.
22. Łaski, P., Błasiak, S., Dindorf, R., Takosoglu, J.: *Design and research of pneumatic valves with piezo-electric actuators*: 14th International Conference on Developments in Machinery Design and Control (2010), pp. 1–2.
23. Błasiak, S., Łaski, P., Takosoglu, J.: *Badania symulacyjne półaktywnych uszczelnień bezstykowych*: XVII Krajowa Konferencja Automatyki KKA'2011 (2011), pp. 61–62.
24. Błasiak, S., Kundera, C.: *Wybrane zagadnienia konstrukcyjno-technologiczne tekstuowania powierzchni ślizgowych elementów maszyn*: Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej. Nauki Techniczne 13 (2009), pp. 42–49.
25. Kundera, C., Błasiak, S.: *Dynamika bezstykowych uszczelnień czołowych z tekstuowanymi powierzchniami ślizgowymi*: Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej 7 (2008), pp. 109–114.
26. Błasiak, S., Kundera, C.: *Analiza wymiany ciepła w bezstykowych uszczelnieniach czołowych z modyfikacjami powierzchni pierścieni ślizgowych*: Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej. Nauki Techniczne 11 (2008), pp. 37–44.
27. Błasiak, S., Kundera, C.: *Model teoretyczny oraz program komputerowy wspomagający projektowanie czołowych uszczelnień bezstykowych*: XI Konferencja Międzynarodowa - Uszczelnienia i Technika Uszczelnienia Maszyn i Urządzeń (2007), pp. 19–26.

e) **Udzielone patenty międzynarodowe i krajowe:**

1. Sławomir Błasiak, Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, Józef Barycki: *Pneumatyczny zawór rozdzielający*, 2016.
2. Sławomir Błasiak, Jerzy Bochnia, Paweł Łaski, Jakub Takosoglu: *Mechaniczne uszczelnienie obrotowe*, 2014.

3. Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, Sławomir Błasiak: *Urządzenie do badań, zwłaszcza dynamicznych, pneumatycznych napędów mięśniowych*, 2016.
4. Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, Sławomir Błasiak: *Właz kanałowy, zwłaszcza studzienki kanalizacyjnej*, 2016.
5. Jakub Takosoglu, Paweł Łaski, Sławomir Błasiak, Gabriel Bracha, Dawid Pietrała, Józef Barycki: *Zawór do sterowania napędów płynowych zwłaszcza pneumatycznych napędów siłownikowych oraz układ sterowania zaworami napędów płynowych*, 2015.
6. Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, Ilona Grzegorzczuk, Sławomir Błasiak: *Manipulator równoległy trójramienny o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu Delta o trzech stopniach swobody*, 2012.
7. Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, Sławomir Błasiak: *Pneumatyczny, proporcjonalny zawór rozdzielający*, 2012.

f) **tabela zbiorcza publikacji po uzyskaniu stopnia doktora**

Rodzaj artykułu/autorstwo	Indywidualn	Współautorstwo
Artykuły z listy A	3	7
Artykuły z listy B	-	5
Materiały z konferencji międzynarodowej (zarejestrowane w Web of Science)	1	8
Artykuły w czasopismach spoza listy A i B	-	40
Rozdziały w monografiach	-	8
Razem	4	68

5.3. Sumaryczny impact factor publikacji według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania

Sumaryczny *impact factor* publikacji zgodnie z rokiem wydania wynosi **17.61**.

Auto/Autorzy	Tytuł	Rok	Liczba punktów	IF	IF-5Y
J.E. Taksoğlu, P.A. Laski, S. Błasiak	A fuzzy logic controller for the positioning control of an electro-pneumatic servo-drive - Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2012, 226 (10), pp. 1335-1343	2012	15	1,419	1,347
S. Błasiak, P.A. Laski, J.E. Taksoğlu	Parametric analysis of heat transfer in non-contacting face seals - International Journal of Heat and Mass Transfer, 2013, 57, pp. 22-31	2013	40	2,522	2,868
S. Błasiak, J.E. Taksoğlu, P.A. Laski	Heat transfer and thermal deformations in non-contacting face seals, Journal of Thermal Science and Technology, 2014, Vol 9, No.2, pp.	2014	15	0,536	0,443
S. Błasiak, A. Pawlińska	Direct and inverse heat transfer in non-contacting face seals, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2015, 58, pp. 710-718	2015	40	2,857	2,98
S. Błasiak	An analytical approach to heat transfer and thermal distortions in non-contacting face seals, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2015, 58 (2015), pp. 90-102	2015	40	2,857	2,98
S. Błasiak	The two dimensional thermohydrodynamic analysis of a lubrication in non-contacting face seals, Journal of Thermal Science and Technology, 2015, Vol. 10 (2015) No. 1 p. JT5T0016-JT5T0016	2015	15	0,611	0,682
P.A. Laski, J.E. Taksoğlu, S. Błasiak	Design of a 3-DOF tripod electro-pneumatic parallel manipulator, Robotics and Autonomous Systems 24 2015	2015	25	1,256	1,583
S. Błasiak, A. Zaborucko	A parametric and dynamic analysis of non-contacting gas face seals with modified surfaces, Tribology International, 2016, 94 (2016), pp.126-137	2016	35	2,259	2,352
S. Błasiak	Time-fractional heat transfer equations in modeling of the non-contacting face seals, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2016, 100 (2016), pp. 79-88	2016	40	2,857	2,98
J.E. Taksoğlu, P.A. Laski, S. Błasiak, G. Brocha, D. Pietrala	Determining the static characteristics of pneumatic muscles, Measurement and Control Vol 49, (2) (2016), pp. 62-71	2016	15	0,431	0,338
Σ				17,61	18,553

5.4. Liczba cytowań publikacji oraz indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS);

- liczba cytowań prac w bazie Web of Science, całkowita liczba cytowań: **108**, liczba cytowań bez autocytowań: **64**.
- Indeks Hirscha, Indeks Hirscha publikacji: **h-index=6**.
- raport cytowań na podstawie danych ze strony internetowej <http://apps.webofknowledge.com/>

Results found:	18
Sum of the Times Cited:	108
Sum of Times Cited without selfcitations:	64
Citing Articles:	52
Citing Articles without selfcitations:	37
Average Citations per Item:	6
i-index:	6



Rys. 10. Statystyki w portalu Web of Science (26 czerwca 2017).

5.5. Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach

a) kierowanie lub udział w międzynarodowych projektach badawczych

Brak

b) kierowanie lub udział w krajowych projektach badawczych

1. Projekt „Teoretyczno-eksperymentalne metody modyfikacji powierzchni roboczych uszczelnień hydro- i gazodynamicznych”, czas realizacji 2007-2010 umowa nr N N502 4498 33, (wykonawca).
2. Projekt, badania symulacyjne i eksperymentalne równoległego manipulatora typu delta z sztucznymi mięskulami pneumatycznymi, realizowany w ramach I Konkursu w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia Narodowego Centrum Nauki i Narodowego Centrum Badań i Rozwoju TANGO nr TANGO1/270131/NCBR/2015, (wykonawca).
3. Projekt Wpływ rozwiniętych powierzchni grzejnych na wymianę ciepła przy wrzeniu w przepływie przez mini przestrzenie Finansowany przez Narodowego Centrum Nauki umowa nr UMO-2013/09/B/ST8/02825 (wykonawca).
4. Kierowanie projektami badawczymi w ramach prac statutowych finansowanych przez MNiSW
 - 1) 2017 - Zastosowanie równań różniczkowych cząstkowych niecałkowitego rzędu w analizie wybranych zagadnień termosprężystości
 - 2) 2016 - Badania modelowe deformacji termicznych w elementach uszczelnień bezstykowych

- 3) 2013 - Deformacje termiczne pierścieni w uszczelnieniach bezstykowych
- 4) 2012 - Opracowanie technologii wykonywania elementów metodą przyrostową z zastosowaniem urządzeń typu SLS i 3D PRNITING
- 5) 2010 - Badania dynamiki bezstykowych uszczelnień czołowych z uwzględnieniem deformacji termicznych pierścieni o modyfikowanych powierzchniach (praca własna)

5.6. Międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność naukową:

a. Nagrody międzynarodowe

1. Złoty medal Korea Invention Academy na 6th International Warsaw Invention Show IWIS 2012, Warszawa 2012 za "Parallel pneumatic Delta manipulator with 3 degrees of freedom" – współautor projektu.
2. Srebrny medal International Warsaw Invention Show IWIS 2012, Warszawa 2012 za "Parallel pneumatic Delta manipulator with 3 degrees of freedom" – współautor projektu.
3. Brązowy medal INVENTO Prague 2013 za „A valve for controlling fluid power drives, specially for pneumatic actuators, and the control system for fluid power drives valves” – współautor projektu.
4. Złoty medal Taiwan International Invention Award Winners Association in INVENTO Prague 2013 za „A valve for controlling fluid power drives, specially for pneumatic actuators, and the control system for fluid power drives valves” – współautor projektu.
5. Srebrny medal na 42 Międzynarodowej Wystawie Wynalazków w Genewie za „Manipulator równoległy trójramienny o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu Delta, o trzech stopniach swobody". 2014 – współautor projektu
6. Nagroda za Najlepszy Wynalazek Międzynarodowy od Krajowej Rady ds. Badań Naukowych Tajlandii za „Manipulator równoległy trójramienny o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu delta, o trzech stopniach swobody". 2014 – współautor projektu
7. Złoty medal w wyróżnieniu Warsaw Invention Show IWIS 2014, Warszawa 2014 za "Parallel pneumatic Delta manipulator with 3 degrees of freedom". – współautor projektu

8. International Trade Fair, Invention University / College iENA 2015 Bronzemedaille, Three-arm parallel manipulator with closed kinematic Delta type chain of three degrees of freedom – współautor projektu
9. Wyróżnienie Ministry of Education, Technical University of Moldova, IWIS 2012, Warszawa 2012 za “Parallel pneumatic Delta manipulator with 3 degrees of freedom”. – współautor projektu
10. II miejsce na prestiżowych zawodach łazików marsjańskich ERC 2014 European Rover Challenge, Podzamcze k. Chęcín 5-7 wrzesień 2014 – współautor projektu
11. V miejsce na prestiżowych zawodach łazików marsjańskich ERC 2015 European Rover Challenge, Podzamcze k. Chęcín wrzesień 2015 – współautor projektu
12. II miejsce na prestiżowych zawodach łazików marsjańskich ERC 2016 European Rover Challenge, Jasionka k. Rzeszowa 10-13 wrzesień 2016 – współautor projektu
13. Srebrny medal na Międzynarodowej Wystawie IWIS 2016, za „*Mięsień pneumatyczny*” Warszawa 10-12 października 2016 – współautor projektu
14. Special Prize: “Pneumatic Muscle” presented to: G. Bracha, D. Pietrala, P. Laski, S. Błasiak, J. Takosoglu, D. Janecki, from Poland for excellent efforts in creating inventions exhibited at the 44th International Exhibition of Inventions of Geneva in Switzerland April, 13th-17th, 2016 – współautor projektu.

b. Nagrody krajowe

1. Dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za „Manipulator równoległy trójramienny o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu Delta, o trzech stopniach swobody”. Warszawa 2013 – współautor projektu
2. Dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego 2014 za „Zawór do sterowania napędów płynowych zwłaszcza pneumatycznych napędów siłownikowych oraz układów sterowania zaworami napędów płynowych”. dr Jakub Takosoglu, dr inż. Paweł Łaski, dr inż. Sławomir Błasiak, mgr inż. Gabriel Bracha, mgr inż. Dawid Pietrala, mgr inż. Józef Barycki. – współautor projektu
3. Złoty Medal V Targów Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2012, Targi Kielce 2012 za "Manipulator typu delta z pneumatycznymi napędami mięśniowymi" – współautor projektu
4. Nagroda IV edycji Konkursu Świętokrzyski Racjonalizator Urzędu Marszałkowskiego, Kielce 2012 za "Manipulator równoległy trójramienny o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu Delta, o trzech stopniach swobody" – współautor projektu

5. Nagroda IV edycji Konkursu Świętokrzyski Racjonalizator Urzędu Marszałkowskiego, Kielce 2012 za "Pneumatyczny, proporcjonalny zawór rozdzielający" – współautor projektu
6. Złoty Medal VI Targów Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2013, Targi Kielce 2013 za "Samodiagnostującą pneumatyczną wyspę zaworową zintegrowaną z komunikacją sieciową" – współautor projektu
7. Nagroda V edycji Konkursu Świętokrzyski Racjonalizator Urzędu Marszałkowskiego, Kielce 2013 za "Właz kanałowy, zwłaszcza studzienki kanalizacyjnej" – współautor projektu.
8. Złoty Medal VI Targów Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2013, Targi Kielce 2014 za „Pneumatyczny zawór rozdzielający, – współautor projektu
9. Laureaci IV edycji Konkursu „Student-Wynalazca”, Ilona Grzegorzcyk, Łaski Paweł, Takosoglu Jakub, Błasiak Sławomir. 2014
10. Staropolska Izba Przemysłowo-Handlowa przyznano nagrodę w ósmej edycji Konkursu NOVATOR. za działania innowacyjne m.in. w produkcji, usługach, współpracy nauka-przemysł NOVATOR 2013 – współautor projektu
11. Nagroda VI edycji Konkursu Świętokrzyski Racjonalizator Urzędu Marszałkowskiego, Kielce 2014 za „Zawór do sterowania napędów płynowych zwłaszcza pneumatycznych napędów siłownikowych oraz układ sterowania zaworami napędów płynowych.” – współautor projektu
12. Złoty Laur dla Politechniki Świętokrzyskiej za projekt – Samodiagnostującej pneumatycznej wyspy zaworowej zintegrowanej programowalnym sterowaniem i komunikacją sieciową – współautor projektu
13. Nagroda Główna w konkursie Świętokrzyski Racjonalizator Urzędu Marszałkowskiego za „Zawór do sterowania napędów płynowych zwłaszcza pneumatycznych napędów siłownikowych oraz układ sterowania zaworami napędów płynowych”, Kielce 13 grudnia 2016

c. Inne nagrody

1. 2009 – Nagroda zespołowa III stopnia za osiągnięcia dydaktyczne i organizacyjne kierunku studiów Inżynieria Bezpieczeństwa oraz rozwój bazy laboratoryjnej,
2. 2010 – Nagroda zespołowa II stopnia za uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych,
3. 2011 – Nagroda zespołowa II stopnia za działalność organizacyjną na rzecz rozwoju Uczelni,

4. 2012 – Nagroda zespołowa III stopnia za publikacje w znaczących czasopismach,
5. 2014 – Nagroda zespołowa III stopnia za aktywną działalność w zakresie ubiegania się o środki finansowe w ramach konkursów NCBiR i NCN.
6. 2016 – Nagroda zespołowa I stopnia za zdobycie II miejsca w konkursie European Rover Challenge we wrześniu 2016 w Rzeszowie.

5.7. Wygłaszanie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych

a) wygłaszanie referatów na konferencjach międzynarodowych:

W trakcie swojej kariery po uzyskaniu stopnia doktora wygłosiłem 3 referaty na międzynarodowych konferencjach naukowych. Oprócz tego 5 artykułów przedstawiłem podczas sesji plakatowych.

b) wygłaszanie referatów na konferencjach krajowych:

W trakcie swojej kariery po uzyskaniu stopnia doktora wygłosiłem 10 referatów na krajowych konferencjach naukowych.

5.8. Uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych

Projekt LABIN - Wsparcie aparaturowe innowacyjnych laboratoriów naukowo-badawczych Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Program Operacyjny Rozwój Polski Wschodniej 2007-2013, Oś priorytetowa I Nowoczesna Gospodarka, Działanie I.3. Wspieranie innowacji jako specjalista do spraw obsługi informatycznej projektu.

5.9. Udział w komitetach organizacyjnych i naukowych krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych

a) sekretarz komitetu organizacyjnego dwóch konferencji międzynarodowych,

1. Sekretarz Komitetu Organizacyjnego w XII Międzynarodowej Konferencji HERVICON-2008 w Przemyślu.
2. Sekretarz XIII Międzynarodowa Konferencja HERVICON-2011 "Hermetyzacja, redukcja drgań i hałasu, niezawodność i bezpieczeństwo ekologiczne instalacji pompowych i sprężarkowych + Międzynarodowe Forum "Modelowanie, projektowanie i produkcja pomp – PUMPS-2011" 6-9 września 2011 roku, Sumy, Ukraina.

b) Członek komitetu organizacyjnego jednej konferencji krajowej,

1. Członek Komitetu Organizacyjnego XVII Krajowej Konferencji Automatyki, KKA'2011, 19-22.06.2011 Kielce – Cedzyna.

5.10. Udział w konsorcjach i sieciach badawczych

Brak

5.11. Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

Brak

5.12. Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych

1. Członek Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej.

5.13. Charakterystyka dorobku dydaktycznego

1. Realizowane ćwiczenia, zajęcia laboratoryjne i projektowe

Jako student studiów doktoranckich w Politechnice Świętokrzyskiej prowadziłem następujące zajęcia:

- 1) Matematyka - Ćwiczenia.
- 2) Grafika inżynierska - Laboratorium.
- 3) Podstaw informatyki - Laboratorium.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, przebyłym rocznym stażu na stanowisku technologa w ISKRA Centrum Narzędzi Specjalnych Spółka z o o. i nawiązaniu stosunku pracy, jako asystent (a od 2008 roku, jako adiunkt) w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, prowadziłem następujące zajęcia laboratoryjne i projektowe:

- 1) Techniki wytwarzania II – Laboratorium.
- 2) Maszyny technologiczne – Laboratorium.
- 3) Komputerowe wspomaganie procesów technologicznych – Laboratorium.
- 4) Obrabiarki sterowane numerycznie – Laboratorium.
- 5) Technologie zaawansowane – Projekt.
- 6) Szybkie prototypowanie w budowie maszyn – Laboratorium.
- 7) Szybkie prototypowanie w budowie maszyn – Projekt.
- 8) Technologie budowy maszyn – Laboratorium.
- 9) Technologie budowy maszyn – Projekt.
- 10) Procesy i techniki produkcyjne II – Laboratorium.
- 11) Wybrane zagadnienia z technologii maszyn – Laboratorium.
- 12) Obróbka ubytkowa – Laboratorium.
- 13) CAD/CAM – Laboratorium.
- 14) CAD/CAM – Projekt.
- 15) Podstawy inżynierii odwrotnej – Laboratorium.

- 16) Podstawy inżynierii odwrotnej – Projekt.
- 17) Zaawansowane metody modelowania i wizualizacji urządzeń technicznych -Lab.
- 18) Projekt inżynierski – Projekt.
- 19) Praca przejściowa – Projekt.
- 20) Praca dyplomowa.

5.14. Osiągnięcia dydaktyczne w zakresie popularyzacji nauki

- a) sprawowanie funkcji opiekuna prac dyplomowych magisterskich na specjalności Komputerowe Wspomaganie Wytwarzania (Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej). Od roku 2008 liczba prac dyplomowych zrealizowanych pod moją opieką wynosi 20.
- b) sprawowanie funkcji opiekuna prac dyplomowych inżynierskich na specjalności Komputerowe Wspomaganie Wytwarzania (Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej). Od roku 2008 liczba prac dyplomowych zrealizowanych pod moją opieką wynosi ok. 50.

5.15. Opieka naukowa nad studentami

Od 2012 roku jestem Pełnomocnikiem Dziekana Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn ds. osób niepełnosprawnych, będących studentami i doktorantami w/w Wydziału.

Opiekun IV roku na kierunku MiBM w roku akademickim 2016/2017,

Opiekun IV roku na kierunku MiBM w roku akademickim 2015/2016,

Opiekun IV roku na kierunku MiBM w roku akademickim 2014/2015,

Opiekun IV roku na kierunku MiBM w roku akademickim 2013/2014,

Opiekun gr. 302 MiBM w roku akademickim 2009/2010,

Opiekun gr. 302 MiBM w roku akademickim 2008/2009.

5.16. Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego

Jestem opiekunem pomocniczym jednej rozprawy doktorskiej:

- mgr inż. Tomasza Musiała, tytuł pracy „Badania wymiany ciepła przy wrzeniu podczas przepływu przez mini-przestrzenie”, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, okres sprawowania opieki nad doktorantem: lata 2014-nadal.

5.17. Staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

Roczny staż naukowy w ISKRA Centrum Narzędzi Specjalnych Spółka z o o, NSK Europe Ltd.

5.18. Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie

Brak

5.19. Udział w zespołach eksperckich i konkursowych

Opracowanie w zespole studium wykonalności do projektu LABIN - Wsparcie aparaturowe innowacyjnych laboratoriów naukowo-badawczych Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Program Operacyjny Rozwój Polski Wschodniej 2007-2013, Oś priorytetowa I Nowoczesna Gospodarka, Działanie I.3. Wspieranie innowacji.

Uczestnictwo w zespołach eksperckich przy obsłudze przetargów w ramach projektu LABIN.

5.20. Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Jestem autorem 8 recenzji publikacji w czasopismach międzynarodowych. Recenzje dotyczyły publikacji skierowanych do redakcji czasopism znajdujących się w bazie JCR oraz 3 artykułów konferencyjnych.

- dwa artykuły w International Heat And Mass Transfer,
- dwa artykuły w Tribology International,
- trzy artykuły w Rapid Prototyping Journal,
- jeden artykuł w Friction.
- trzy artykuły konferencyjne Mechatronics Systems and Materials

Kielce dn. 26.06.2017


.....
podpis