

УДК 531/534

J. SALWIŃSKI, J. ŁUKASIK

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w. Krakowie

**WKŁAD KATEDRY KONSTRUKCJI I EKSPLOATACJI MASZYN AGH
W ROZWÓJ WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII MECHANICZNEJ**

У статті викладені важливі проблеми досліджень в галузі сучасного машинобудування, які проводяться на кафедрі проектування та експлуатації машин. Приділено увагу застосуванню магнітних рідин і нових інженерних матеріалів, які потрібно використовувати в машинах і агрегатах. Крім фундаментальних досліджень, проводиться серія робіт з виготовлення та експлуатації машин і устаткування, нові досягнення в області конструкційних матеріалів, роботи в області біомедичної інженерії

Ключові слова: машинобудування, магнітні рідини, біомедична інженерія

Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn jest bezpośrednim kontynuatorem jednostek działających od początków istnienia Akademii Górniczo-Hutniczej, w różnych formach organizacyjnych jako zakłady lub katedry. Mimo różnych nazw, działalność ich zawsze dotyczyła konstrukcji i eksploatacji maszyn. Ze względu na realizowaną działalność dydaktyczną i obszar badań naukowych, rodowód Katedry należy wyprowadzić od Katedry Maszynoznawstwa utworzonej w 1921 roku na jedynym w ówczesnej Akademii Górniczej Wydziale Górniczym. Jej kierownikiem był wywodzący się z ziemi wileńskiej (Inflant Polskich) profesor Jan Krauze, który wcześniej studiował na Wydziale Matematyki Uniwersytetu Kijowskiego, a następnie na Wydziale Mechanicznym Politechniki Kijowskiej i Lwowskiej. Przez wiele następnych lat to głównie z profesorem Krauze wiązała się działalność dydaktyczna i naukowa AGH w dziedzinie konstrukcji maszyn.

W 1946 roku Zakład Maszynoznawstwa I znalazł się w strukturze wówczas utworzonego Wydziału Elektromechanicznego. Tak Wydziałem jak i Zakładem kierował profesor Krauze. W 1952 roku Wydział podzielił się na Wydział Elektryfikacji Górnictwa i Hutnictwa oraz Wydział Mechanizacji Górnictwa i Hutnictwa. Na tym drugim znalazła się Katedra Części Maszyn kierowana przez profesora Krauze, aż do jego odejścia na emeryturę w 1960 roku.

Po wprowadzeniu zmian organizacyjnych na początku lat dziewięćdziesiątych, Akademia Górniczo-Hutnicza odeszła od struktury instytutowej. Ich efektem było powstanie Katedry Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, którą od 1 października 2000 roku kieruje dr hab. inż. Józef Salwiński, prof. n. AGH.

Obecnie Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn zatrudnia: 5 profesorów i doktorów habilitowanych, 21 pracowników naukowo-dydaktycznych ze stopniem doktora nauk technicznych, 5 asystentów i wykładowców, 5 asystentów stażystów oraz 6 pracowników technicznych i administracji

Działalność dydaktyczna

Każdy student Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki przynajmniej przez 4 semestry uczestniczy w zajęciach prowadzonych przez pracowników Katedry Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn. W znacznym zakresie realizowane są również zajęcia dla studentów innych wydziałów AGH, w tym także jako przedmioty wybierane przez studentów.

Zajęcia dydaktyczne dotyczą głównie:

- zapisu konstrukcji,

- podstaw konstrukcji maszyn w trybie ćwiczeń projektowych i laboratoryjnych,
- teorii niezawodności i eksploatacji,
- grupy przedmiotów pokrewnych uprzednio wymienionym, realizowanych dla kilku wydziałów niemechanicznych AGH,
- grupy przedmiotów związanych z prowadzoną specjalnością: „Eksploatacja i technologia maszyn i pojazdów,
- grupy przedmiotów związanych z prowadzoną specjalnością: «Komputerowe wspomaganie projektowania»,
- grupy przedmiotów związanych z podstawami informatyki oraz komputerowym wspomaganie prac inżynierskich.

Prowadzone są także zajęcia dla studentów z Francji, Indii, Chin, Ukrainy i Libii, studiujących w AGH. Pracownicy Katedry prowadzą również zajęcia w języku angielskim dla studentów polskich.

Katedra posiada rozbudowaną bazę dydaktyczną. Zajęcia dotyczące podstaw informatyki, komputerowego wspomaganie zapisu konstrukcji, projektowania i konstruowania - realizowane są w dobrze wyposażonych wydziałowych pracowniach komputerowych, z użyciem licencjonowanego oprogramowania.

Dla potrzeb specjalności zmodernizowano i rozbudowano specjalistyczne laboratorium badania silników spalinowych. Jego możliwości znacznie wykraczają poza zastosowanie dydaktyczne, pozwalają prowadzić badania z użyciem paliw ciekłych i gazowych – rys. 1.



Rys. 1. Laboratorium badania silników spalinowych Działalność naukowa

Zasadniczy obszar działalności naukowej Katedry Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn obejmuje zagadnienia związane z konstruowaniem i badaniem maszyn na etapach ich projektowania i eksploatacji. Uzupełniany jest badaniami podstawowymi, głównie z obszaru szeroko rozumianej tribologii. Tematyka badawcza w szczególności dotyczy:

- trwałości i niezawodności elementów maszyn i urządzeń;
- optymalizacji parametrów konstrukcyjnych wybranych elementów i zespołów maszynowych;
- badania w różnych warunkach pracy uszczelnień promieniowych i czołowych, w tym uszczelnień z cieczą magnetyczną;
- aplikacji cieczy magnetycznych w węzłach łożyskowych;
- badania właściwości tribologicznych nowych materiałów;

- metod sterowania procesami tarciovymi;
- niezawodności i bezpieczeństwa eksploatacji układów sieciowych;
- aplikacji badań układów tribologicznych w inżynierii biomedycznej.

Część tematyki badawczej realizowana jest w ramach własnych projektów badawczych. Ważniejsze opracowania naukowe realizowane w takim trybie w ostatnich latach to:

1. Metodyka szybkiego oznaczania parametrów tribologicznych tworzyw konstrukcyjnych współpracujących ślizgowo w wybranych ośrodkach gazowych lub próżni.
2. Badanie uszczelnień czołowych poddanych drganiom wymuszonym w aspekcie oceny i podwyższenia ich niezawodności.
3. Analiza geometrii strefy współpracy biołożysk w aspekcie tribologii i choroby zwyrodnieniowej stawów oraz opracowanie teoretycznych podstaw do konstrukcji endoprotez.
4. Wyznaczenie charakterystyk tribologicznych oraz granicznych warunków pracy uszczelnień ferromagnetycznych.
5. Opracowanie i badania własności elektrotribologicznych ciernych kompozytów (wg. własnych patentów) przeznaczonych do pracy w milisystemach.
6. Wpływ wybranych parametrów na wydajność nowego rozwiązania układu do samoczynnego smarowania przekładni z pionowo usytuowanymi wałami.
7. Opracowanie metody diagnozowania węzłów kinetycznych maszyn i robotów przy użyciu sensorowych warstw ślizgowych.
8. Rozwój nanotechnologii w inżynierii powierzchni.
9. Analiza teoretyczna, konstrukcja i doświadczalne badania uszczelnienia z cieczą magnetyczną w układach uszczelniania w środowisku cieczy w aspekcie granicznych parametrów pracy.
10. Wyznaczanie granicznych warunków pracy uszczelnień z cieczą magnetoreologiczną.
11. Teoretyczna i eksperymentalna analiza pracy wzdłużnych łożysk ślizgowych smarowanych cieczą magnetyczną w warunkach oddziaływania pola magnetycznego.

Stosownie do nazwy Katedry i wieloletniej tradycji, istotny udział w jego działalności mają prace związane z konstrukcją maszyn i urządzeń. Realizowane w Katedrze prace konstrukcyjne dotyczą projektowania i modernizacji: – łożysk ślizgowych stosowanych w energetyce i w przetwórczych maszynach hutniczych; łożyskowań tocznych maszyn i urządzeń wytwarzanych jednostkowo; urządzeń transportowych stosowanych w górnictwie; koronek narzędzi wiertniczych; układów smarowania maszyn i urządzeń w przemyśle hutniczym.

Znaczący obszar prac badawczych, to aplikacje badań naukowych w konstrukcji maszyn i urządzeń. Ich finansowanie nie obciąża budżetu uczelni, a wprost odwrotnie uzupełnia go. Przynosi również znaczące korzyści dla zlecających je firm. Ważniejsze opracowania powstałe w ostatnich latach w wyniku rozwiązywania problematyki przedstawianej przez przemysł, były związane z tematami następujących prac:

1. Opracowanie sposobu badania stanu technicznego łożyska nośnego wieży obrotowej Agregatu COS.
2. Optymalizacja konstrukcji węzłów łożyskowych w zespołach podporowych konwertora KALDO oraz opracowanie koncepcji optymalnej zabudowy tych zespołów .
4. Modernizacja układu smarowania mgłą olejową węzłów łożyskowych.
5. Analiza i ocena porównawcza nowego układu chłodzenia łożyska nośnego turbogenerатора 125 MW

w elektrowni pompowo-szczytowej, wraz z opracowaniem optymalnego rozwiązania.

6. Ocena stanu technicznego panwi łożysk typu Morgoil \varnothing 900 x 675 wycofanych z eksploatacji wskutek uszkodzeń, oraz opracowanie sposobów ich naprawy.

7. Wykonanie badań właściwości mikromechanicznych oraz tribologicznych warstw na stopach tytanu.

8. Opracowanie i wdrożenie efektywnego sposobu eksploatacji wysokociśnieniowych pomp nurnikowych KOBE

(USA) w układach hydrostatycznego smarowania łożysk ślizgowych typu Morgoil.

9. Opracowanie i wdrożenie metody regeneracji korpusu przekładni walców zębatach napędu klatki walcarki tandem.

10. Badania, analiza i ocena zespołu 256 specjalnych sprężyn łożyska nośnego hydrogeneratora 125 MW.

11. Analiza i ustalenie przyczyn uszkodzeń łożyska nośnego hydrogeneratora 179 MW elektrowni pompowo- szczytowej.

Zespół zajmujący się projektowaniem, badaniem i wdrażaniem układów uszczelniających ma szczególne osiągnięcia w zastosowaniu cieczy magnetycznych. Wytwarzając skoncentrowane pole magnetyczne jest możliwe utworzenie bariery uszczelniającej o wyjątkowej skuteczności. Takie bezstykowe uszczelnienia charakteryzują się całkowitym brakiem przecieków i bardzo małymi oporami ruchu. Mogą one być stosowane jako uszczelnienia spoczynkowe i ruchowe. Korzystne jest ich zastosowanie zwłaszcza w warunkach próżni oraz dużych prędkości obrotowych. Do celów badawczych zbudowano kilka unikatowych stanowisk – rys.2, które pozwalają na wyznaczanie charakterystyk uszczelnień wałów obrotowych, a zwłaszcza ciśnienia przebiecia i oporów ruchu. Prowadzono na nich między innymi badania uszczelnień wielostopniowych, określając ciśnienie przebiecia w funkcji rodzaju cieczy magnetycznej, liczby występów uszczelniających, wysokości szczeliny roboczej, średniej indukcji magnetycznej w uszczelnieniu i prędkości obrotowej wału w zakresie do 9000 obr./min. Nowatorski charakter mają badania prowadzone nad możliwością zastosowania uszczelnień z cieczą magnetyczną w środowisku wodnym [3] oraz zastosowania cieczy magnetoreologicznych [6]. Uzyskane wyniki w tym obszarze badawczym pozwalają oczekiwać w nieodległej przyszłości wdrożeń przemysłowych.



Rys. 2. Stanowisko do badania szczelności i charakterystyk tribologicznych uszczelnień z cieczą magnetyczną

Katedra posiada unikatową aparaturę pozwalającą prowadzić badania właściwości reologicznych cieczy w warunkach oddziaływania pola magnetycznego o natężeniu do 1T – rys.3.

Współpracowano z kilkoma ośrodkami zajmującymi się zagadnieniami zastosowania cieczy magnetycznych, w tym: *dr Norbert Buske, Mediport Kardioteknik, Berlin oraz Prof. Yurij Mikhalev, POLYUS, Rosja.*

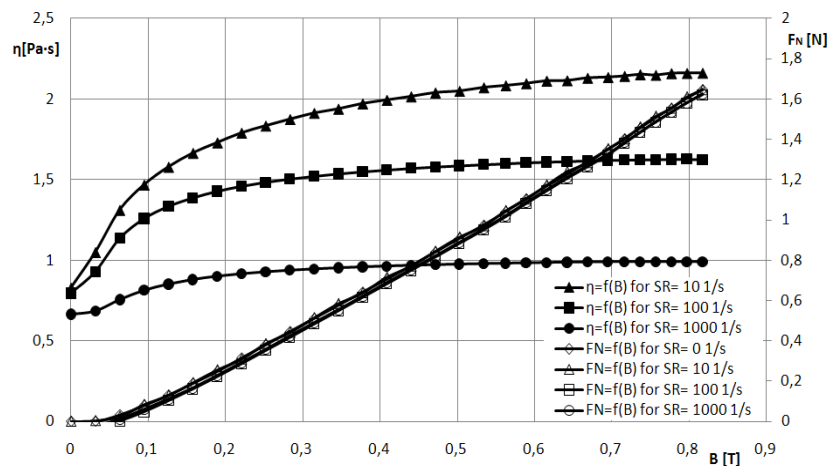
Unikalne właściwości ciecze magnetycznych polegają na możliwości odwracalnej, niemal natychmiastowej zmiany ich parametrów reologicznych oraz kierunku przepływu na skutek oddziaływania pola magnetycznego. W konstrukcji maszyn ferrociecze znalazły zastosowanie przede wszystkim w konstrukcji uszczelnień [7], natomiast ciecze magnetoreologiczne stosowane są głównie w tłumikach drgań, hamulcach oraz sprzęgłach [5]. Prowadzone są również prace nad opracowaniem i doskonaleniem konstrukcji łożysk tarcia płynnego,

w których jako środek smarny została zastosowana ciecz magnetyczna. Dotyczy to zarówno łożysk hydrostatycznych jak i hydrodynamicznych. W pracy [4] wykazano, że poprzeczne łożysko ślizgowe smarowane cieczą magnetoreologiczną uzyskuje większą nośność oraz lepsze tłumienie drgań, a ponadto dodanie cząstek magnetycznych do oleju poprawia jego właściwości smarne. Natomiast w pracy [2] przedstawiono analizę smarowania poprzecznego łożyska ślizgowego ferrocieczą, ze zwróceniem uwagi na istotną zaletę wynikającą z zastosowania ferrociecze, a mianowicie możliwość uzyskania efektu samouszczelnienia łożyska, dzięki czemu, układ może pracować bez dostarczania smaru. Ponadto uzyskuje się dodatkową nośność związaną z ograniczeniem wpływów bocznych smaru z łożyska.



Rys.3. Reometr elektroniczny MCR 301 z możliwością badań magnetoreologicznych

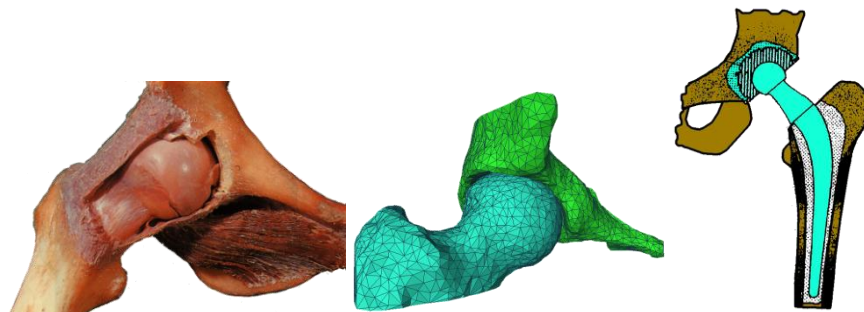
Zastosowanie jako środka smarnego cieczy o sterowanych właściwościach reologicznych pozwala uzyskać znaczący wzrost sztywności takiego łożyska, przy istotnym skróceniu czasu odpowiedzi układu na wymuszenie. Wyniki badań wzdłużnego łożyska hydrostatycznego smarowanego cieczą magnetyczną przedstawiono w pracy [1], w której wykazano, że zastosowanie cieczy magnetoreologicznej jako środka smarnego, pozwala na uzyskanie wysokich sztywności niezależnie od wysokości szczeliny smarnej, co z kolei można przełożyć na zmniejszenie wymagań odnośnie tolerancji wykonania powierzchni oporowych łożyska.



Rys. 4 Zmiana lepkości oraz siły normalnej badanej cieczy ferromagnetycznej w funkcji wartości strumienia indukcji magnetycznej

Zasadność rozważań nad zastosowaniem cieczy magnetycznych w łożyskowniach potwierdzają wyniki badań przeprowadzonych na reometrze elektronicznym MCR 301 i w części opublikowanych [9]. Aktualnie prowadzony jest obszerny program badawczy zmierzający do opracowania podstaw teoretycznych i przeprowadzenia badań laboratoryjnych zmierzających do aplikacji cieczy magnetycznych w węzłach łożyskowych. Ważne dla trwałości i niezawodności maszyn zagadnienie smarowania węzłów kinematycznych jest wzbogacone oryginalnym obszarem dotyczącym projektowania i wdrażania przemysłowych układów smarowania mgłą olejową.

W ostatnich kilku latach w Katedrze wyodrębnił się nowy obszar badawczy w ramach uczelnianego kierunku «inżynieria biomedyczna». Prace dotyczą modelowania i symulacji wirtualnego kontaktu w strukturach tkankowych i endoprotezach. Modelowania przestrzenne struktur tkankowych prawidłowych stawów człowieka, układu stomatognatycznego, stałych uzupełnień protetycznych oraz implantów stawowych realizowane są na podstawie spiralnej tomografii komputerowej, rezonansu magnetycznego i badań na współrzędnościowej maszynie pomiarowej [8]. Analiza stanu naprężeń i odkształceń pozwala ocenić relacje w układach prawidłowych, jak również zdiagnozować poprawność przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego, uzupełnienia terapeutycznego lub implantu.



Rys.4. Modelowanie kontaktu w stawach i endoprotezach.

W ramach powyższej tematyki prowadzona jest współpraca z ośrodkami za granicą, w tym: Paul Gatenholm Ph. D., Professor Department of Materiale University of Technology, Geteborg Sweden, Hans P. Scharf, M. D. Professor and Chairman of Orthopaedic Surgery, University Hospital Mannheim, Germany.



Rys. 5. MICRO-COMBI-TESTER – unikatowy aparat do badań materiałowych

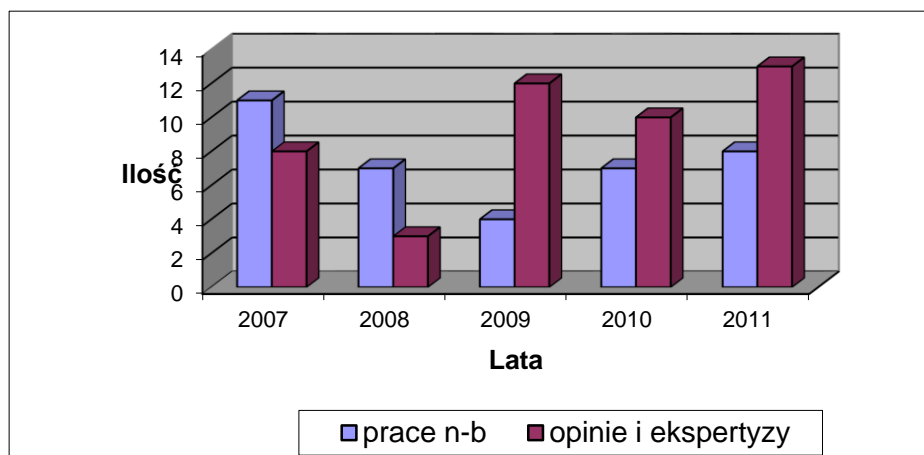
Zespół prowadzący badania w obszarze «Tribologii i inżynierii powierzchni» dysponuje unikalną aparaturą badawczą. Obok szeregu tribotesterów jest to MICRO-COMBI-TESTER szwajcarskiej firmy CSEM realizujący test zarysowań (scratch test) i służący badaniu adhezji powłok do podłoża. Test dostarcza cennych danych dla oceny warstwy oraz sterowania procesem jej formowania. Zespół współpracuje z ośrodkami badawczymi w kraju i zagranicą, m. in. w sieci Micro-Nano-Technology ERA-Net TRANSNATIONAL.

Ich autorstwa są sensorowe kompozyty ślizgowe jako nowa klasa kompozytów polimerowych, charakteryzujących się dobrymi właściwościami sensorowymi, jak i korzystnymi właściwościami tribologicznymi. Wyniki badań wskazują na możliwość zbudowania samodiagnostujących się łożysk ślizgowych. Możliwe zastosowania to miniaturowe łożyska urządzeń informatycznych, sprzętu medycznego i nawigacyjnego, węzłów kinematycznych robotów i inne.

Zespół uczestniczy również w pracach nad technologiami formowania powłok nanokrystalicznych metodami jonowymi, zwłaszcza do zastosowań w inżynierii biomedycznej, optyce i mechanice precyzyjnej.

Metoda IBAD zapewnia uzyskanie na podłożach metalicznych, ceramicznych i polimerowych, warstw o właściwościach nieosiągalnych innymi metodami, m.in. o doskonałej adhezji do podłoża, bardzo elastycznych i o niskich naprężeniach własnych.

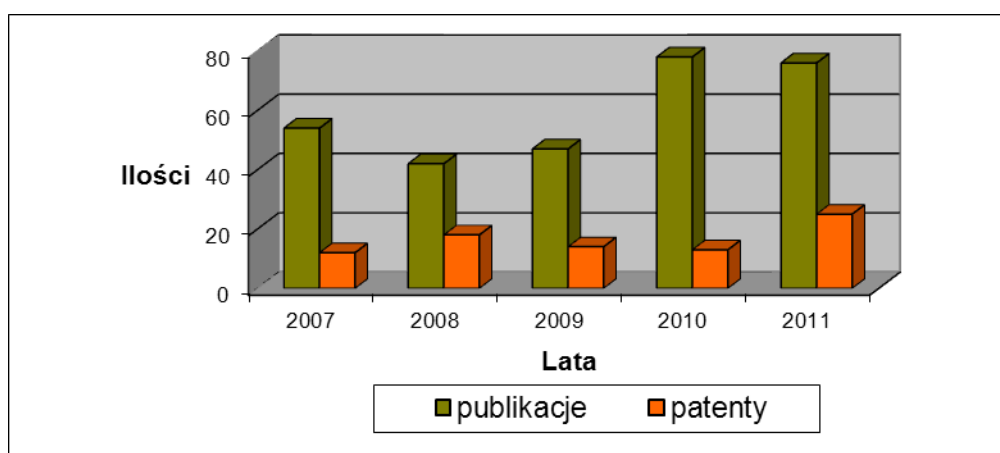
Pracownicy Katedry współdziałają z innymi jednostkami Wydziału. Efektem są prace badawcze i ich przemysłowe aplikacje – rys. 6. Trzeba wymienić przynajmniej jedną kontynuowaną przez kilka lat, w wyniku której powstał szereg rozwiązań nowych narzędzi do wiercenia skał.



Rys. 6. Prace naukowo-badawcze, opinie i ekspertyzy dla potrzeb jednostek gospodarczych

Samodzielni pracownicy nauki zatrudnieni w Katedrze, uczestniczą w pracach wielu komitetów naukowych krajowych i międzynarodowych konferencji. W ostatnich latach byli powoływani do pełnienia funkcji w organizacjach naukowych w kraju i zagranicą. Z ważniejszych wymienić należy; V-prezydenta Międzynarodowej Rady Tribologicznej (ITC) w Londynie i V-przewodniczącego Komitetu Budowy Maszyn PAN .

Niejako «przy okazji» prac naukowo-badawczych powstały patenty i wzory użytkowe. Pracownicy Katedry mają ok. 25 % udział w ilości zgłoszeń przedstawianych przez AGH w Urzędzie Patentowym R P. Warto wymienić opatentowanie unikalnego rozwiązania urządzenia do wykonywania otworów w gazociągach bez ich wyłączania z eksploatacji oraz koronki do wydajnych wierceń otworów specjalistycznych. Te opatentowane rozwiązania znalazły zastosowania przemysłowe potwierdzone stosownymi umowami. Corocznie zgłaszanych jest przynajmniej kilkanaście wniosków patentowych i niewiele mniej zatwierdzanych – rys. 7.



Rys. 7. Dorobek publikacyjny i patentowy pracowników Katedry w latach 2004 – 2008

Od roku 1984 co 4-y lata Katedra wspólnie z Polskim Towarzystwem Tribologicznym, ITE Radom oraz KBM PAN jest organizatorem Międzynarodowego Sympozjum Tribologiczne INSYCONT, na które przyjeżdżają naukowcy z ponad 20 krajów świata. Wspólnie z Politechniką Warszawską oraz prof. Shuichy Fukudą ze Stanford University, Katedra organizowała międzynarodową konferencję Concurrent Engineering 2010. W konferencji brało udział ponad stu uczestników z Australii, Brazylii, Chin, Francji, Hiszpanii, Holandii, Japonii, Kolumbii, Niemiec, Norwegii, Portugalii, Rosji, Singapuru, Szwajcarii, Szwecji, Tajlandii, Tajwanu, USA, Wielkiej Brytanii oraz Włoch [10].

Katedra współpracuje z naukowcami kilkunastu polskich i zagranicznych uczelni w tym: Austrii, Białorusi, Czech, Francji, Kazachstanu, Meksyku, Niemiec, Rosji, U S A, Ukrainy i Włoch.

LITERATURA

1. Guldbakke J., M., Hesselbach J.: Development of bearings and a damper based on magnetically controllable fluids. Journal of Physics, Volume 18 Issue 38, 2959, – 2006.
2. Kuzhir P.: Free boundary of lubricant film in ferrofluid journal bearings. Tribology International 4, – 2008, 41.
3. 4, – 2008, 41.
4. Matuszewski L., Szydło Z.: Life tests of a rotary single-stage magnetic-fluid seal for shipbuilding applications. Polish Maritime Research – 2011 vol. 18 no. 2 s. 51–59.

5. Miszczak A.: Analiza hydrodynamicznego smarowania ferrociecżą poprzecznych łożysk ślizgowych. Gdynia : Fundacja Rozwoju Akademii Morskiej, – 2006.
6. Olabi A., G., Grunwald S.: Design and application of magneto-rheological fluid. Materials and Design.– 2007, – 28.
7. Potoczny M. Zachara B.: Influence of magnetorheological fluid volume onto obtained critical pressures on rotary shaft seals - Key Engineering Materials – 2012 vol. 490 Spec. topic volume on Fundamentals of machine design s. 119–127.
8. Raj K., Moskowitz B., Casciari R.: Advances in ferrofluid technology. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 1995, 149.
9. Ryniewicz A. M.: Identification, modelling and biotribology of human joints Krakow : AGH University of Science and Technology Press, – 2011.
10. Salwiński J., Horak W.: Measurement of normal force in magnetorheological and ferrofluid lubricated bearings Key Engineering Materials 2012 vol. 490 Spec. topic volume on Fundamentals of machine design
11. New world situation: new directions in concurrent engineering : proceedings of the 17th ISPE international conference on concurrent engineering : [Cracow, Poland, September 6–10, 2010] / eds. Jerzy Pokojski, Shuichi Fakuda, Józef Salwiński – London : Springer–Verlag, cop. 2010 – 610 s.

Стаття надійшла до редакції 18.05.2012

Вклад кафедры проектирования и эксплуатации машин АГН (Польша) в развитие современной инженерной механики

Салвински Ю., Лукасик Я.

Краковская горно-металургическая академия

В статье изложены важные проблемы исследований в области современного машиностроения, которые проводятся на кафедре проектирования и эксплуатации машин. Уделено внимание применению магнитных жидкостей и новых инженерных материалов, которые нужно использовать в машинах и агрегатах. Помимо фундаментальных исследований, проводится серия работ по изготовлению и эксплуатации машин и оборудования, новые достижения в области конструкционных материалов, работы в области биомедицинской инженерии.

Ключевые слова: машиностроения, магнитные жидкости, биомедицинская инженерия.

The Contribution of the department of desing and exploitation of machines АGH (Poland) to development of modern engineering mechanic

Salvinski Yu., Lukasik I.

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

In the article the important problems of researches in area of modern machinebuilding, which are conducted on the department of design and exploitation of machines, are expounded. The attention is given to application of magnetic fluids and new engineering materials, which are needed to use in machines and aggregates. Besides fundamental researches, the series of works on making and exploitation of machines and equipment, new achievements in area of construction materials, work in area of the biomedical engineering are conducted.

Keywords: machinebuilding, magnetic fluids, biomedical engineering.