

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

Karol Osowski

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

2009, tytuł zawodowego licencjata

Kierunek: *Edukacja techniczno-informatyczna.*

Specjalność: *Nauczanie przedmiotów technicznych i informatyki.*

Politechnika Radomska im. Kazimierza Pułaskiego,

Wydział Nauczycielski.

2011, tytuł zawodowego magistra

Kierunek: *Edukacji techniczno-informatyczna.*

Specjalność: *Nauczanie techniki i informatyki.*

Politechnika Radomska im. Kazimierza Pułaskiego,

Wydział Nauczycielski.

2015, stopień naukowy doktora nauk technicznych

w dyscyplinie: *budowa i eksploatacja maszyn.*

Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu,

Wydział Mechaniczny.

Rozprawa doktorska pt.: *Systemy ekspertowe wspomagające proces konstruowania i eksploatacji przekładni hydrokinetycznej.*

Promotor: Prof. dr hab. inż. Andrzej Kęsy

Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Edward Lisowski

Dr hab. inż. Jan Zwolak

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

2012-2013 Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Sandomierzu.

Zlecenie na uruchomienie Akademickiego Centrum Kształcenia.

2013-2015 Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu,

Wydział Mechaniczny- *praktyka zawodowa (studia doktoranckie).*

2015-2016 Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Sandomierzu

(obecnie filia Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach),

Instytut Techniczny- *starszy wykładowca.*

2015-2016 Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego

w Radomiu- *wykładowca* zatrudniony na podstawie zlecenia.

2016-2019 Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu,

Zakład Komputerowych Metod Inżynierskich- *adiunkt.*

2019-2023 Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu,

Katedra Komputerowego Projektowania Maszyn- *adiunkt*
(grupa pracowników badawczo-dydaktycznych).
2023 Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego,
Katedra Technologii i Projektowania Maszyn- *adiunkt*
(grupa pracowników badawczo-dydaktycznych).

4. **Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.**

Osiągnięcia naukowe

Wyniki przeprowadzonych przeze mnie badań naukowych i prac rozwojowych stanowiących nowatorskie osiągnięcia naukowe, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.), polegające na opracowaniu koncepcji, a następnie metodyki optymalnego projektowania i eksperymentalnego badania nowego typu chwytaków przeznaczonych do robota przemysłowego, przedstawiłem w **monografii naukowej** pt. *Chwytki robotów ze sprzęgłami z cieczą elektreologiczną*.

Głównym celem naukowym prowadzonych przeze mnie badań naukowych i prac rozwojowych, stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria mechaniczna, było zastosowanie sprzęgieł hydraulicznych z cieczą o sterowanych za pomocą prądu elektrycznego właściwościach reologicznych nazywaną cieczą elektreologiczną (cieczą ER). Sprzęgła z cieczą ER pracujące w chwytakach robotów przemysłowych dają możliwość kontrolowania w łatwy sposób siły chwytu za pomocą elektroniki cyfrowej.

Uzasadnieniem podjęcia tak postawionego celu naukowego jest dynamicznie rozwijający się rynek robotów przemysłowych przeznaczonych dla przemysłu 4.0, które wyposażane są w cyfrowe układy sterowania nie tylko zwiększające precyzję działania chwytaka, ale również umożliwiające dwustronną komunikację z cyfrowymi systemami sterowania całym procesem wykonawczym robota.

Przeprowadzenie zaawansowanych badań eksperymentalnych i teoretycznych umożliwił mi udział w trzyletnim międzynarodowym projekcie badawczym w ramach bilateralnej polsko-tajwańskiej współpracy badawczej nr PL-TW/III/6/2015 pt. *Innovative Application of Smart Fluid in Industrial Robot Gripper*, w którym byłem głównym wykonawcą. Uzyskanie przeze mnie stopnia naukowego doktora habilitowanego było "celem bliskim" tego projektu.

Osiągnięcie przyjętego celu naukowego było poprzedzone prowadzonymi przeze mnie wieloletnimi badaniami naukowymi związanymi z oceną praktycznych zastosowań sprzęgieł z cieczami ER w urządzeniach mechanicznych dotyczących:

- badania różnego rodzaju charakterystyk (reologicznych, elektrycznych, materiałowych) cieczy ER;
- badania statycznych i dynamicznych charakterystyk pracy sprzęgieł i hamulców z cieczą ER;

- badania trwałości cieczy ER pracujących w prototypowych sprzęgłach hydraulicznych, w tym oddziaływań cieczy ER na różne elementy konstrukcyjne sprzęgieł.

Efekty tych badań zostały przedstawione w artykułach naukowych opublikowanych w wysokopunktowanych międzynarodowych czasopismach naukowych takich jak: *Smart Materials and Structures*, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, *International Review of Mechanical Engineering*, *Advances in Science and Technology Research Journal*, *Encyclopedia of Smart Materials*.

Stan zagadnienia

Efektywne wykorzystanie robotów pracujących w zautomatyzowanych przemysłowych centrach produkcyjnych, ze względu na wykonywanie przez urządzenia tego typu zróżnicowanych zadań, zależy od specjalistycznego wyposażenia robota. Istotnym podzespołem robota, który decyduje o prawidłowej pracy robota jest chwytak. Od funkcjonalności, parametrów pracy, a także budowy chwytaków robotów zależy jakie zadania na linii produkcyjnej będzie w stanie zrealizować robot. Im bardziej zadania te są skomplikowane, tym większe wymagania stawiane są chwytakom. Oprócz samego uchwycenia, przeniesienia i uwolnienia obiektu zadaniem chwytaka jest również nadanie obiektowi odpowiedniej orientacji w miejscu docelowym. Dobór chwytaka do realizacji określonych zadań zależy głównie od: rodzaju czynności transportowej; kształtu, rozmiaru, masy obiektu; warunków zewnętrznych pracy, w tym głównie od wilgotności i temperatury otaczającego powietrza. Chwytniki mogą realizować chwyt siłowy, kształtowy lub siłowo-kształtowy. Typowy chwytak składa się z układów: napędowego, przeniesienia napędu oraz wykonawczego odpowiedzialnego za uchwycenie obiektu. Stosowane są napędy: pneumatyczne, hydrauliczne, elektryczne i elektromagnetyczne. Układ przeniesienia napędu może mieć konstrukcję dźwigniową, liniową, klinową lub zębatą. Układ wykonawczy zaś może mieć strukturę dwuszczkową, trójszczkową lub wieloszczkową z końcówkami chwytymi: sztywnymi, sprężystymi lub elastycznymi.

Najbardziej problematycznymi obiektami manipulacji pod względem poprawności chwytu są przedmioty miękkie, zazwyczaj o nieregularnym kształcie i gładkiej powierzchni. Toteż w rozwoju konstrukcji chwytaków robotów dąży się do kontrolowania siły chwytu wyposażając chwytaki w "zmysł dotyku". Dla chwytania przedmiotów miękkich najczęściej stosuje się chwytaki z elastycznymi końcówkami, w których siła chwytu zmienia się pod wpływem ciśnienia sprężonego powietrza. Zaletą konstrukcji chwytaków pneumatycznych z elastycznymi końcówkami jest podatne chwytanie niepowodujące uszkodzenia powierzchni miękkiego przedmiotu. Tego typu chwytaki mają jednak na ogół małą sztywność i ograniczoną siłę chwytu. Ponadto większość takich chwytaków nie jest w stanie przenieść obciążeń bocznych ze względu na niską sztywność materiału, z którego wykonane są końcówki chwytne. Ponadto wadą tego typu konstrukcji jest starzenie i szybkie zużywanie się elementów elastycznych, brak odporności na wysokie temperatury czy długie czasy zwierania i rozwierania związane z koniecznością napełniania i opróżniania komór roboczych sprężonym powietrzem.

Obecnie w budowie chwytaków robotów przemysłowych dokonuje się rewolucja związana z wprowadzaniem nowoczesnych i zaawansowanych rozwiązań wynikających z realizacji koncepcji Przemysłu 4.0. Zakłada się, iż w przyszłości będą stosowane inteligentne rozwiązania umożliwiające autonomiczną pracę chwytaków.

Autonomiczny chwytak na podstawie "zmysłu dotyku" samodzielnie zidentyfikuje kształt przedmiotu, strukturę powierzchni oraz podatność na nacisk i na tej podstawie określi optymalną siłę chwytu oraz prędkość przenoszenia. Pozyskane w czasie tych procesów dane cyfrowe będą trafiać do chmury obliczeniowej, dzięki czemu, jeśli chwytak wykryje nieznaną obiekt, będzie mógł pobrać dane dotyczące parametrów chwytu z chmury obliczeniowej, o ile wcześniej taki sam obiekt przenosił chwytak innego robota.

Celem realizacji idei autonomicznego chwytaka są obecnie prowadzone badania nad zastosowaniem w chwytakach robotów przemysłowych "inteligentnych" materiałów konstrukcyjnych zmieniających swoje właściwości w kontrolowany sposób, w reakcji na bodźce zewnętrzne. Do grupy "inteligentnych" materiałów konstrukcyjnych zaliczane są ciecz ER reagujące zmianą właściwości reologicznych pod wpływem pola elektrycznego, co pozwala na kontrolowanie "zmysłu dotyku" za pomocą prądu elektrycznego, a tym samym umożliwia łatwe przyłączenie chwytaków do cyfrowych układów sterowania automatycznego robota przemysłowego.

W praktyce stosowane są dwufazowe ciecz ER, w których fazę stałą stanowią najczęściej cząstki polimeru o średnicy od 5 do 10 μm , zaś fazę ciekłą olej silikonowy, ze względu na małą zależność jego właściwości od temperatury lub olej mineralny. Mechanizm działania cieczy ER polega na zmianie naprężeń stycznych, które powstają na skutek przyłożonego napięcia elektrycznego. Dla dwufazowej cieczy ER przyjmuje się, że pod wpływem pola elektrycznego cząstki stałe polaryzują się i łączą tworząc w ciągu kilku milisekund łańcuchy przestrzenne, które zwiększają opory przepływu fazy ciekłej.

Na obecnym etapie rozwoju techniki nieodzownym elementem procesu projektowania urządzeń jest tworzenie modeli matematycznych pozwalających na określenie wpływu różnych parametrów na działanie konstruowanego urządzenia, a także na optymalizację konstrukcji na drodze matematycznej. W urządzeniach z cieczami ER, w których występuje zjawisko odkształcenia cieczy, takich jak amortyzatory, tłumiki obrotowe, sprzęgła i hamulce przyjmuje się, że ciecz jest lepka lub lepkoplastyczna, tak więc najczęściej wykorzystywanymi modelami reologicznymi cieczy ER są modele Newtona i Bingham. Modelując ciecz ER przyjmuje się, że przy braku pola elektrycznego ciecz zachowuje się jak ciecz Newtona, a w obecności pola elektrycznego jak ciecz Bingham.

Ze względu na dużą różnorodność konstrukcji urządzeń z cieczami ER występuje dwa tryby pracy cieczy ER:

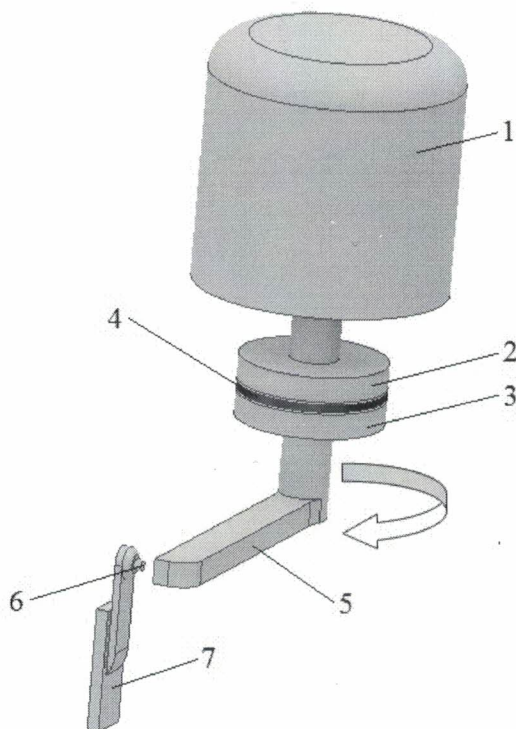
- przepływ ze ścinaniem (wleczony), gdy jedna ze ścian ograniczających ciecz porusza się równoległe do drugiej;
- przepływ ciśnieniowy (zaworowy), spowodowany działaniem ciśnienia na ciecz ER;

Wartość natężenia pola elektrycznego wpływa bezpośrednio na wartość naprężeń stycznych w cieczy ER, co umożliwia zmianę wartości momentu obrotowego M przenoszonego przez sprzęgło z cieczą ER. Generowanie pola elektrycznego w sprzęgłach i hamulcach hydraulicznych odbywa się za pomocą dwóch grup elektrod tworzących szczelinę z cieczą ER, do których doprowadzane jest wysokie napięcie, przy czym jedna grupa elektrod połączona jest z biegunem "+", a druga grupa elektroda połączona jest z biegunem "-" elektrycznego zasilacza wysokiego napięcia. Tak więc sterowanie momentem obrotowym M przez zmianę właściwości elektreologicznych cieczy ER wymaga opracowywania specjalnych konstrukcji sprzęgieł hydraulicznych, które różnią się od typowych konstrukcji sprzęgieł

wiskotycznych, a także opracowania algorytmu sterowania dla tego typu konstrukcji sprzęgieł.

Realizacja osiągnięć naukowych

Koncepcja budowy chwytaka. Opracowana przeze mnie koncepcja budowy chwytaka nowego typu polega na wykorzystaniu sprzęgła hydraulicznego z cieczą ER w mechanizmie zaciskania szczęk. Do napędu chwytaka służy silnik elektryczny, którego oś jest połączona z częścią napędzającą sprzęgła hydraulicznego z cieczą ER, rys. 1.



Rys. 1. Schemat budowy chwytaka z cieczą ER: 1 – silnik elektryczny, 2 – część napędzająca sprzęgła hydraulicznego z cieczą ER, 3 – część napędzana sprzęgła hydraulicznego z cieczą ER, 4 – ciecz ER, 5 – dźwignia, 6 – czujnik siły nacisku, 7 – szczeka

Część napędzana sprzęgła hydraulicznego z cieczą ER przez połączoną z nią dźwignię, wywiera nacisk na szczęki chwytaka powodując ich zaciskanie się. Na końcu szczęki umieszczony jest czujnik umożliwiający ciągły pomiar siły nacisku szczęk na przenoszony obiekt. W klasycznych sprzęgłach hydraulicznych zmiana wartości prędkości kątowej ω_1 umożliwia sterowanie momentem obrotowym M przenoszonym przez sprzęgło. Dla sprzęgieł z cieczami ER sterowanie momentem obrotowym można uzyskać dodatkowo poprzez zmianę wartości natężenia pola elektrycznego E .

Z analizy istniejących rozwiązań konstrukcyjnych chwytaków z cieczą ER istotnym problemem, jaki pojawia się podczas aktywowania cieczy ER jest niewielki obszar działania pola elektrycznego koniecznego do wpływania na właściwości reologiczne cieczy ER, co ogranicza zakres ruchu końcówek chwytanych oraz ogranicza siłę chwytu. W zaproponowanej przeze mnie koncepcji rozwiązania konstrukcyjnego chwytaka takie ograniczenie nie występuje ze względu na zależność siły chwytu od

dwóch wielkości sterujących: prędkości kątowej ω_1 oraz natężenia pola elektrycznego E . Ponadto w wyniku zastosowania sprzęgła hydraulicznego z cieczą ER poruszającego się ruchem obrotowym nacisk na szczęki chwytaka może być wywierany niezależnie od przemieszczenia. Pozwala to na utrzymanie przez chwytak zarówno przedmiotów o grubości ułamka milimetra jak i kilkunastu centymetrów. Zastosowanie cieczy ER w sprzęgle hydraulicznym ze względu na jej dużą "wrażliwość" na pole elektryczne zapewnia dużą "czułość dotyku" nawet przy nieznaczących siłach nacisku. Nowatorskość przyjętego przeze mnie rozwiązania konstrukcyjnego chwytaka ma szczególne znaczenie aplikacyjne, gdyż dotychczasowe rozwiązania konstrukcyjne chwytaków z cieczami ER posiadają wiele ograniczeń uniemożliwiających ich praktyczne zastosowanie.

Dobór sprzęgła hydraulicznego. Podczas wyboru sprzęgła hydraulicznego do chwytaka wziąłem pod uwagę trzy rodzaje sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER: tarczowe wiskotyczne, cylindryczne wiskotyczne oraz hydrokinetyczne. W pierwszej kolejności dokonałem analizy charakterystyk $M = f(\omega)$ wybranych typów sprzęgieł. Sprzęgła wiskotyczne (tarczowe i cylindryczne) mają charakterystykę liniową, zaś sprzęgło hydrokinetyczne paraboliczną. W sprzęgłach wiskotycznych z cieczą ER przy wzroście wysokiego napięcia U następuje zwiększanie przenoszonego momentu obrotowego M , natomiast w sprzęgłach hydrokinetycznych z cieczą ER wzrost wysokiego napięcia U powoduje zmniejszenie przenoszonego momentu obrotowego M . Ponadto na podstawie przeprowadzonych przeze mnie badań charakterystyk dynamicznych tego typu sprzęgieł stwierdziłem, że sterowanie sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER mającego charakterystykę liniową jest dużo prostsze. Z tych powodów zastosowanie sprzęgła wiskotycznego w chwytaku jest bardziej korzystne.

Zaletą tarczowych sprzęgieł wiskotycznych jest też mniejsza wrażliwość na niedokładność montażu. Niezachowanie osiowości w tarczowym sprzęgle wiskotycznym spowodowane przez przesunięcie równoległe osi części napędzającej i napędzanej nie powoduje zmniejszenia szczeliny roboczej, jak to ma miejsce w cylindrycznym sprzęgle wiskotycznym.

Optymalizacja. Prowadzona przeze mnie optymalizacja na etapie projektowania sprzęgieł hydraulicznych z cieczami ER miała na celu dokonanie wyboru typu i wymiarów sprzęgła przeznaczonego do chwytaka robota przemysłowego. Aby uzyskane wyniki optymalizacji były obarczone mniejszym błędem, podczas optymalizacji uwzględniałem zarówno wymiary geometryczne sprzęgieł, jak i warunki ich pracy. Ustalając sposób przeprowadzenia optymalizacji konstrukcji wykonałem szereg obliczeń wstępnych, uwzględniając, że wyniki optymalizacji konstrukcji zależą od wielu czynników takich jak: dokładności modelu matematycznego, rodzaju kryteriów, postaci funkcji celu, zakresu ograniczeń, metody optymalizacji. Opracowane przeze mnie modele matematyczne zawierają zmienne, którymi są wielkości fizyczne oraz współczynników, które mogą być stałe lub zależne od wielkości fizycznych. Współczynniki te ustalałem na podstawie danych literaturowych oraz własnych badań eksperymentalnych cieczy ER i prototypów sprzęgieł z tymi cieczami.

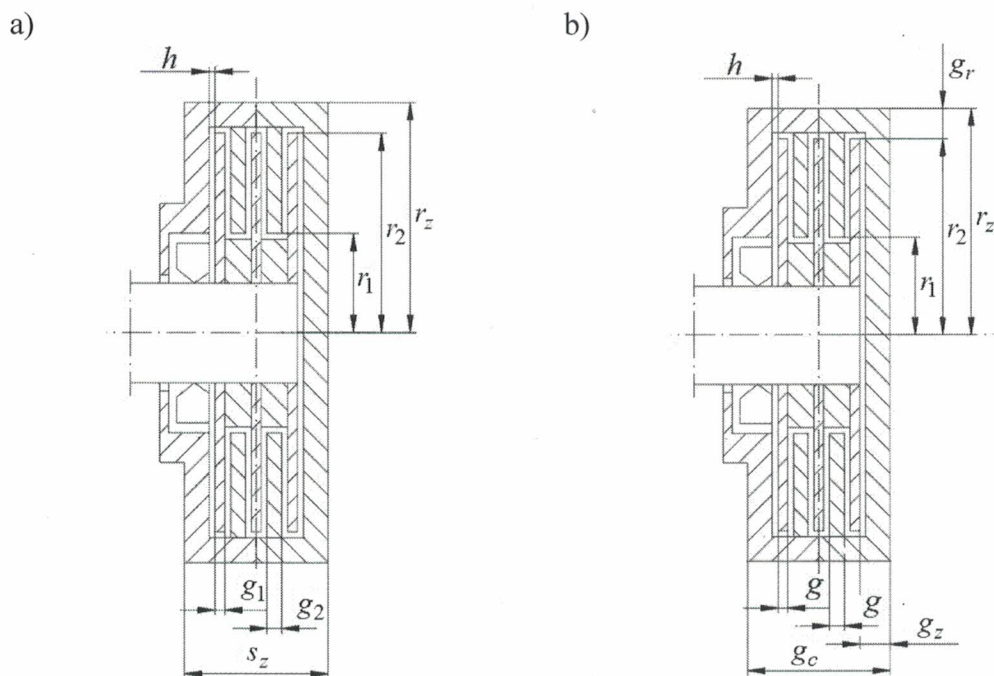
W celu utworzenia dokładnego modelu matematycznego cieczy ER przeznaczonego do optymalizacji konstrukcji sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER, rozbudowałem typowy powszechnie stosowany model cieczy ER umieszczonej w polu elektrycznym, tj. jest model Bingham'a. Do tego modelu wprowadziłem współczynniki uwzględniające zależność granicznego naprężenia stycznego τ_0 ,

lepkość plastyczną μ_0 , gęstość prądu upływu i_g od temperatury T , szybkość ścinania $\dot{\gamma}$ oraz wilgotność powietrza w .

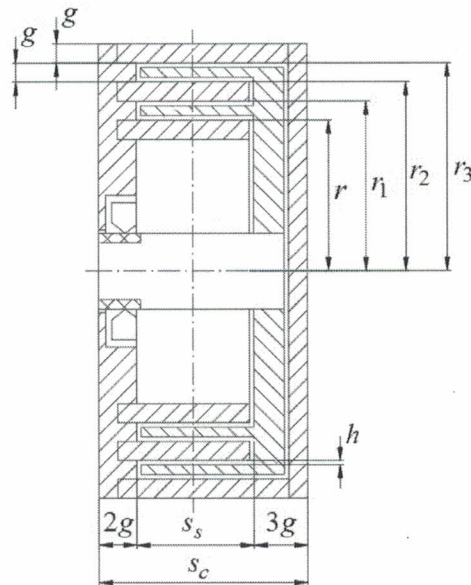
Współczynniki te określiłem dla dwóch cieczy ER, tj. ERF#6 oraz ERF3-S-I. Taki sposób podejścia do modelowania cieczy ER nie był dotychczas stosowany.

W oparciu o przeprowadzoną przeze mnie analizę różnych wariantów rozwiązań konstrukcyjnych chwytaka z trzema rozpatrywanymi typami sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER, przeprowadzone rozważania dotyczące charakterystyk oraz zalet i wad poszczególnych sprzęgieł, a także rezultaty optymalizacji konstrukcji sprzęgieł ostatecznie przyjąłem, że w chwytaku znajdzie zastosowanie tarczowe sprzęgło wiskotyczne z cieczą ER. Wymiary tego sprzęgła ustaliłem w oparciu o optymalizację konstrukcji wg modelu z trzema zmiennymi decyzyjnymi przeprowadzoną metodą Algorytmu genetycznego. Przyjęto, że $sk = 2$, $n = 12$, $U = 2$ kV, $T_0 = 20$ °C, $w = 30$ % oraz że cieczą roboczą w sprzęgle będzie docelowo ciecz ERF#6. Jednak ze względu na fakt, iż jak stwierdziłem podczas badań optymalizacyjnych, niewielkie różnice we właściwościach reologicznych cieczy ER nie mają istotnego wpływu na charakterystyki sprzęgieł, przewidziałem też zastosowanie innych cieczy ER o zbliżonych właściwościach reologicznych, np. cieczy ERF3-S-I.

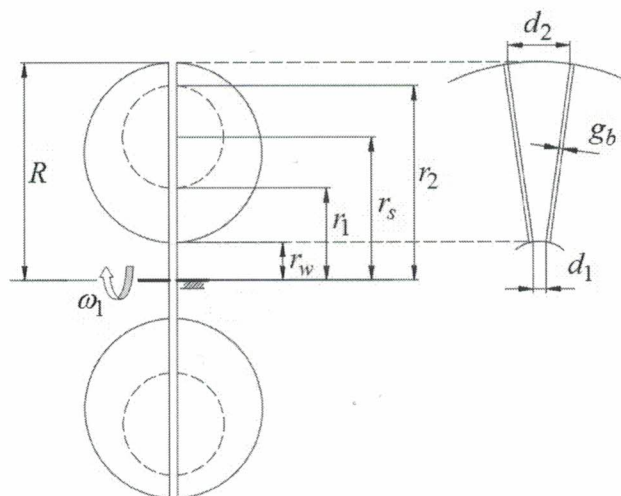
Aby zwiększyć dokładność modelowania, opracowałem indywidualne modele geometrii dla tarczowych sprzęgieł wiskotycznych z cieczą ER, cylindrycznych sprzęgieł wiskotycznych z cieczą ER oraz sprzęgieł hydrokinetycznych z cieczą ER, przy czym dla tarczowego sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER przygotowałem dwa modele. Modele te przedstawiam na rys. 2.



c)



d)



Rys. 2. Modele geometryczne sprzęgła: a, b – tarczowe sprzęgło wiskotyczne, c – cylindryczne sprzęgło wiskotyczne, d – sprzęgło hydrokinetyczne

W pierwszym modelu geometrii tarczowego sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER wymiary linowe sprzęgła określiłem z wykorzystaniem współczynnika skali sk , tak więc parametrami opisującymi geometrię przestrzeni roboczej tarczowego sprzęgła wiskotycznego były: współczynnik skali sk oraz liczba szczelin roboczych n . W drugim modelu geometrii tarczowego sprzęgła wiskotycznego wymiary linowe sprzęgła nie były ze sobą powiązane czyli parametrami określającymi geometrię tarczowego sprzęgła wiskotycznego były wszystkie przyjęte wymiary liniowe: promienie r_1 , r_2 , szerokości g , g_r , g_z oraz szczelina między tarczami h . Zależność kształtu tarczowych sprzęgieł wiskotycznych od liczby szczelin roboczych n uwzględniłem przyjmując, że szerokość zewnętrzna sprzęgła jest sumą grubości szczelin, grubości tarcz oraz grubości ścianek obudowy sprzęgła. Umożliwiło to stosowanie jednego modelu geometrycznego sprzęgieł dla różnej liczby tarcz.

Budując model geometrii cylindrycznego sprzęgła wiskotycznego przyjąłem, że grubości pierścieni oraz ścianek są jednakowe, co pozwoliło w łatwy sposób opisać pozostałe wymiary w oparciu o podstawowy promień r oraz szerokość s_c , tak więc parametrami określającymi geometrię cylindrycznego sprzęgła wiskotycznego są: promień r , liczba szczelin roboczych n oraz szerokość powierzchni ciernej s_c .

W sprzęgle hydrokinetycznym z cieczą ER, podobnie jak w literaturze, jako wymiary opisujące geometrie przyjąłem: promień zewnętrzny wirników R , promień wewnętrzny wirników r_w oraz liczbę szczelin roboczych n . Ponadto uwzględniłem, że liczba łopatek wirników sprzęgła hydrokinetycznego z cieczą ER powinna być parzysta tak, aby łopatki były naprzemiennie podłączone do biegunów zasilacza wysokiego napięcia i żeby w każdym z kanałów (szczelin roboczych) utworzonych przez łopatki było generowane pole elektryczne. Dodatkowo w celu uniknięcia możliwości wystąpienia przebiegów elektrycznych, ze względu na zależność szerokości szczeliny między łopatkami dla określonej liczby łopatek n_l od promienia wewnętrznego wirnika r_w , sformułowałem warunek ograniczający liczbę łopatek n_l tak, żeby nie uzyskać szerokości szczeliny mniejszej od minimalnej szerokości szczeliny h_{min} .

Ze względu na zastosowanie optymalizowanego sprzęgła hydraulicznego z cieczą ER w chwytaku robota przemysłowego, które najczęściej pracuje jako szybko działający hamulec o zwartej budowie, przyjąłem kryteria optymalizacji przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Kryteria optymalizacji sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER

Nazwa kryterium	Oznaczenie	Jednostka	Wymóg
Przenoszony moment obrotowy	M	Nm	Maksimum
Objętość sprzęgła	O	m ³	Minimum
Ustalona temperatura pracy sprzęgła	T_u	°C	Minimum
Masa sprzęgła	G	Kg	Minimum
Moc elektryczna zasilacza	P_e	W	Minimum
Szybkość działania	T	S	Minimum

W trakcie doboru kryteriów optymalizacji badałem również zależności między tymi kryteriami. Zestawione w tabeli 1 kryteria optymalizacji są zależne od siebie, gdyż do uzyskania dużego momentu obrotowego M konieczne jest zwiększenie objętości O i tym samym masy G sprzęgła, co z kolei powoduje wzrost wymaganej mocy elektrycznej P_e . Wpływ wymiarów sprzęgła na temperaturę ustaloną pracy sprzęgła T_u jest niejednoznaczny, gdyż wzrost mocy przenoszonej przez sprzęgło zwiększa ilość wytwarzanego ciepła, jednak z drugiej strony zwiększają się gabaryty sprzęgła, a im większa jest powierzchnia odprowadzania ciepła, tym ustala się niższa temperatura pracy sprzęgła.

Wartości momentu obrotowego M przenoszonego przez sprzęgła hydrauliczne z cieczą ER, objętości O oraz masy G obliczałem w oparciu o wzory zaczerpnięte z literatury z uwzględnieniem przyjętej geometrii tych sprzęgieł oraz ograniczenia konstrukcyjne (np. związek wymiarów liniowych z założonymi charakterystykami sprzęgieł) czy konieczność zapewnienia wymaganej ilości cieczy ER w szczelinie roboczej. W celu obliczenia ustalonej temperatury pracy T_u sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER rozpatrzyłem bilans ciepła z uwzględnieniem ciepła Joule'a wytwarzanego

podczas przepływu elektrycznego prądu upływu przez ciecz ER. Do oceny szybkości działania sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER przyjąłem czas T zaniku napięcia występującego na elektrodach sprzęgła po skokowym doprowadzeniu wysokiego napięcia U z zasilacza wysokiego napięcia, obliczony na podstawie modelu zasilania prądem elektrycznym sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER. W modelu tym przyjąłem, że układ elektryczny sprzęgła składa się z kondensatora utworzonego przez elektrody sprzęgła i ciecz ER oraz opornika reprezentującego opór elektryczny cieczy ER.

Na zmienne decyzyjne optymalizacji konstrukcji wybrałem zmienne występujące w równaniach modeli matematycznych sprzęgieł hydraulicznych, które mają istotny i przeciwstawny wpływ na kryteria optymalizacji. Wybrane zmienne decyzyjne opisują zarówno geometrię sprzęgieł, jak i warunki pracy określone przez prędkość kątową ω . Jak wynika z literatury dotyczącej optymalizacji sprzęgieł hydraulicznych, podczas optymalizacji konstrukcji warunki pracy sprzęgieł nie były dotychczas uwzględniane. Wybór zmiennych decyzyjnych poprzedziłem badaniami zależności kryteriów od tych zmiennych. Ze względu na fakt, iż podczas obliczeń optymalizacyjnych zmienne decyzyjne nie mogą być przyjmowane w dowolny sposób ze względu na ograniczenia fizyczne (np. wymiary liniowe nie mogą być ujemne oraz zapobieżenia występowaniu przebiegów elektrycznych między elektrodami), ustaliłem dopuszczalne zakresy zmiennych decyzyjnych. Dodatkowo do ograniczeń zmiennych decyzyjnych włączyłem wielkości charakteryzujące pracę sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER takie jak: dopuszczalna temperatura pracy sprzęgła, napięcie, natężenie i moc prądu elektrycznego wytwarzanego przez zasilacz wysokiego napięcia, przyspieszenie dośrodkowe, któremu jest poddawana ciecz ER. Uwzględnienie w obliczeniach optymalizacyjnych sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER tego typu ograniczeń jest nowością.

Ze względu na fakt, iż optymalizacja konstrukcji sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER jest optymalizacją wielokryterialną, zgodnie z metodyką optymalizacji konieczne było sprowadzenie optymalizacji wielokryterialnej do optymalizacji jednokryterialnej, co uzyskałem przez wybór na funkcję celu F wyrażenia utworzonego z wybranych kryteriów lub sumy kilku kryteriów i przekształceniu pozostałych kryteriów w ograniczenia. W rezultacie, w oparciu o literaturę przyjąłem 8 funkcji celu przedstawionych w tabeli 2.

Tabela 2. Funkcje celu przyjęte podczas optymalizacji sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER

Typ sprzęgła	Postać funkcji celu	
	$F1$	$F2$
Sprzęgła wiskotyczne	$F1 = z \frac{T_u O}{M}$	$F2 = z_1 w_1 T_u - w_2 z_2 \frac{O}{M} $
Sprzęgło hydrokinetyczne	$F1_G = \frac{G}{M}$	$F2_G = G - zM$
	$F1_P = \frac{P_e}{M}$	$F2_P = zP_e - M$
	$F1_T = \frac{T_r}{M}$	$F2_T = T_r - zM$

Dobierając postać funkcji celu uwzględniłem podstawową zasadę konstrukcji maszyn, z której wynika dążenie do zwiększania wydajności, zmniejszania masy i do oszczędzania energii. Zgodnie z tą zasadą założyłem, że sprzęgło hydrauliczne z cieczą ER będzie przenosiło duży moment obrotowy przy małych gabarytach,

zużywając mało energii elektrycznej i pracując w temperaturze nie odbiegającej znacznie od temperatury otoczenia. Tak więc dla sprzęgieł wiskotycznych występujący w funkcjach celu F_1 oraz F_2 stosunek O/M powinien być jak najmniejszy, tak aby ze sprzęgła o jak najmniejszej objętości O otrzymać jak największy moment obrotowy M . Podobnie temperatura T_u powinna być jak najmniejsza, tak aby ograniczyć wpływ temperatury na ciecz ER, co oznacza dążenie do minimum tych funkcji celu. Minimalizacja funkcji celu F_1 dla sprzęgieł hydrokinetycznych spowoduje, że na jednostkę momentu obrotowego M będzie przypadać kolejno: najmniejsza masa G , najmniejsza moc elektryczna P_e i najkrótszy czas T_r .

Do prowadzenia obliczeń optymalizacyjnych na podstawie przeglądu literatury dotyczącego optymalizacji konstrukcji sprzęgieł hydraulicznych wytypowałem dwie najczęściej stosowane metody optymalizacji, tj. Metodę Monte Carlo oraz Metodę algorytmu genetycznego. Wybór metody optymalizacji do rozwiązania określonego zadania optymalizacyjnego na podstawie obliczeń wstępnych uzależniłem od liczby zmiennych decyzyjnych, mając na uwadze uzyskanie wymaganej dokładności obliczeń dla akceptowalnego czasu obliczeń, tabela 3.

Tabela 3. Zmienne decyzyjne stosowane podczas optymalizacji sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER

Rodzaj sprzęgła	Liczba zmiennych decyzyjnych	Metoda optymalizacji
Wiskotyczne tarczowe	3	Monte Carlo Algorytmu genetycznego
Wiskotyczne tarczowe	8	Algorytmu genetycznego
Wiskotyczne cylindryczne	3	Monte Carlo
Hydrokinetyczne	3	Monte Carlo

Stwierdziłem, że gdy liczba zmiennych decyzyjnych nie przekracza 3 może być stosowana zarówno metoda Monte Carlo, jak i metoda Algorytmu genetycznego. Gdy liczba zmiennych decyzyjnych jest większa od 4 konieczne jest stosowanie Metody algorytmu genetycznego.

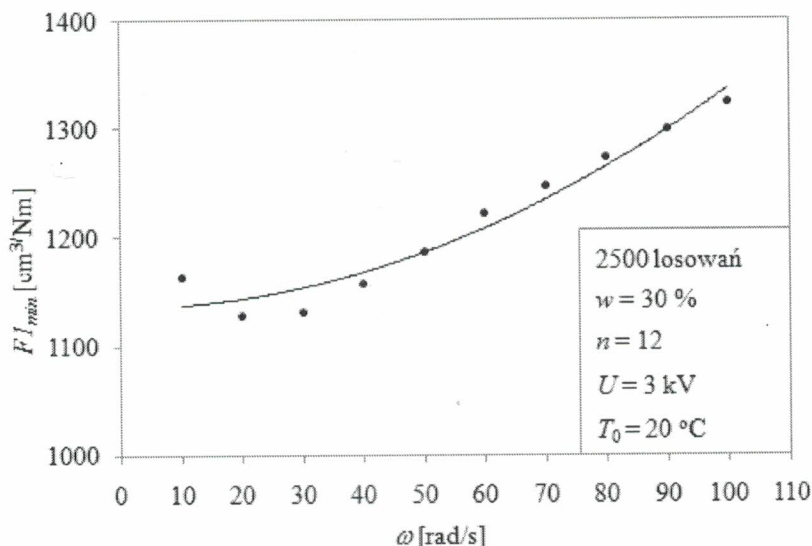
Na podstawie analizy wyników badań optymalizacyjnych przeprowadzonych dla sprzęgieł wiskotycznych z cieczą ER stwierdziłem, że najmniejsze wartości funkcji celu F_1 oraz F_2 uzyskuje się dla:

- sprzęgieł wiskotycznych z cieczą ER dla małych wartości prędkości kątowej ω ,
- tarczowego sprzęgła wiskotycznego dla małej grubości szczeliny h , mniejszej temperatury T_u , większej liczby szczelin roboczych n i średnich wartości współczynnika sk ,
- cylindrycznego sprzęgła wiskotycznego dla dużych wartości współczynnika sc ,

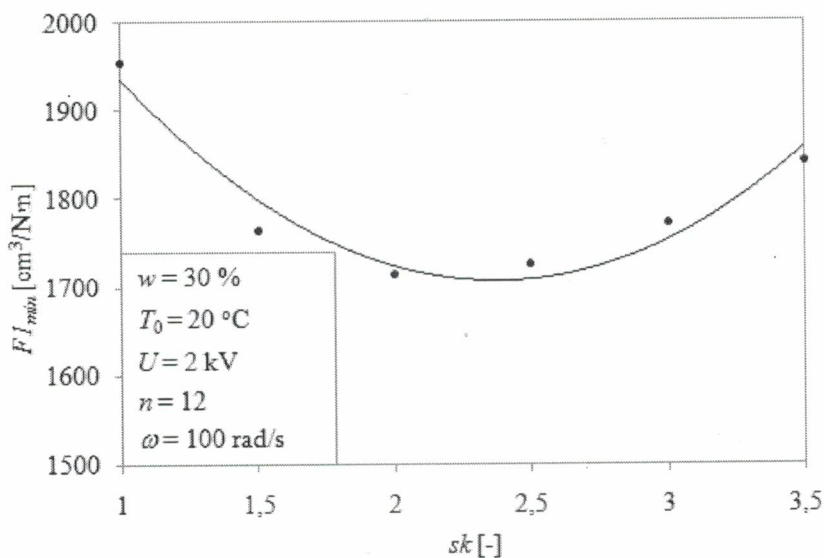
oraz że w wyniku minimalizacji funkcji celu F_1 , F_2 modelu tarczowego sprzęgła wiskotycznego z 8 zmiennymi decyzyjnymi, podczas optymalizacji konstrukcji otrzymuje się sprzęgła o małej szerokości oraz dużym promieniu zewnętrznym.

Dla przykładu, na rys. 3 oraz rys. 4 przedstawiam wyniki obliczeń dotyczących optymalizacji konstrukcji tarczowego sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER dla trzech

zmiennych decyzyjnych, otrzymane za pomocą Metody Monte Carlo. Rysunki te prezentują zależność minimalnej funkcji celu, oznaczonej jako $F1_{min}$, od zmiennych decyzyjnych ω , sk , n oraz od parametrów określających warunki pracy sprzęgła U , T_0 .



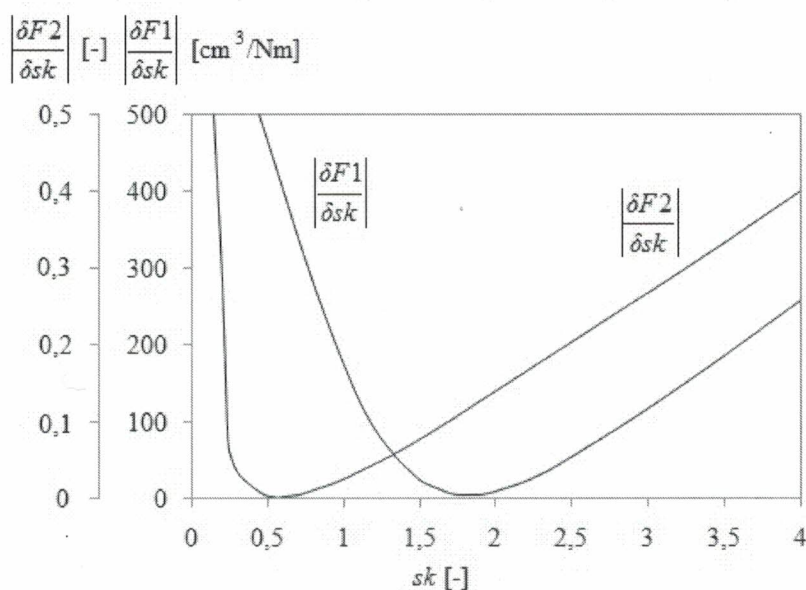
Rys. 3. Zależność $F1_{min} = f(\omega)$ dla tarczowego sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER



Rys. 4. Zależność $F1_{min} = f(sk)$ dla tarczowego sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER

Jak wynika z rys. 3 oraz rys. 4 funkcja celu $F1_{min}$ dla optymalizacji konstrukcji tarczowego sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER dla trzech zmiennych decyzyjnych otrzymana za pomocą Metody Monte Carlo przyjmuje najmniejsze wartości dla prędkości kątowej $\omega = 20$ rad/s oraz $sk = 2$.

Podczas analizy wyników obliczeń optymalizacyjnych w celu określenia czułości funkcji celu F na zmianę wybranego parametru rozpatrywałem pochodne cząstkowe $\delta F / \delta p$. Dla przykładu, na rys. 5 pokazałem wpływ wartości bezwzględnych pochodnych funkcji celu $F1$ oraz $F2$ na zmianę współczynnika sk występującego w modelu geometrii tarczowego sprzęgła wiskotycznego z 3 zmiennymi decyzyjnymi.



Rys. 5. Przebiegi pochodnych funkcji celu $F1$ oraz $F2$

Jak wynika z rys. 5, funkcje celu $F1$ oraz $F2$ nie są wrażliwe na zmianę sk w wąskim zakresie wartości tego parametru.

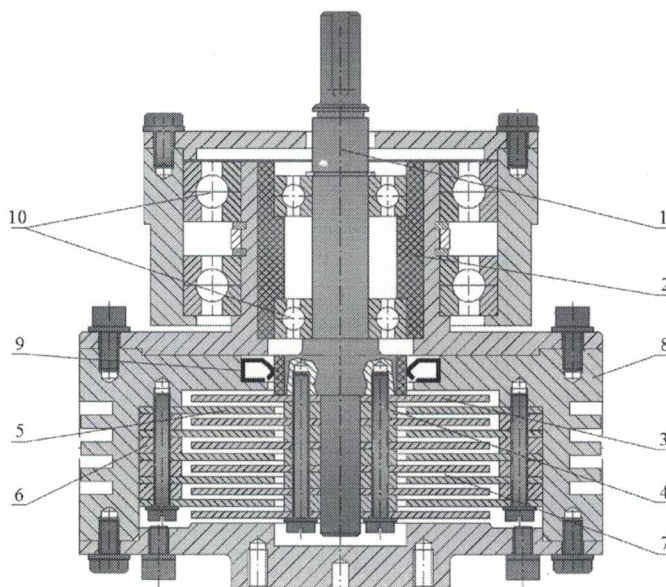
Na podstawie wyników optymalizacji uzyskanych dla sprzęgła hydrokinetycznego z cieczą ER stwierdziłem, że najmniejsze wartości funkcji celu $F1$ oraz $F2$ uzyskuje się dla sprzęgła hydrokinetycznego dla większych momentów obrotowych M dla funkcji celu $F1_G$, $F2_G$, $F1_T$, $F2_T$ oraz mniejszych momentów obrotowych M dla funkcji celu $F1_p$, $F2_p$. Sprzęgła przenoszące większe momenty obrotowe M charakteryzują się małymi wartościami stosunku G/M oraz stosunku T_r/M , co jest korzystne. Natomiast sprzęgła hydrokinetyczne z cieczą ER przenoszące mały moment obrotowy M mają większe wartości stosunków G/M oraz T_r/M , ale korzystną wartość stosunku P_e/M . Minimalna wartości stosunku G/M nie występuje dla minimalnej masy G , ze względu na duże różnice w wartościach momentów obrotowych. Natomiast minimalne wartości stosunków P_e/M oraz T_r/M występują dla minimalnych wartości odpowiednio P_e oraz T_r . Wartości momentów obrotowych M , jak i stosunków G/M , P_e/M , T_r/M otrzymane podczas minimalizacji funkcji celu $F1$ są bardzo bliskie wartościom uzyskanym dla minimalizacji funkcji celu $F2$.

Rozpatrując całościowo rezultaty obliczeń optymalizacyjnych stwierdziłem, że najmniejsze różnice w wymiarach optymalizowanych sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER wystąpiły dla funkcji celu $F1$, modelu tarczowego sprzęgła wiskotycznego z 3 zmiennymi decyzyjnymi oraz obliczeń z użyciem Metody algorytmu genetycznego. Natomiast największe różnice w optymalnych wymiarach sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER miały miejsce podczas optymalizacji konstrukcji modelu tarczowego sprzęgła wiskotycznego z 8 zmiennymi decyzyjnymi, za pomocą Metody algorytmu genetycznego mimo, że model sprzęgła z 8 zmiennymi decyzyjnymi precyzyjniej opisuje geometrię sprzęgieł, niż model z 3 zmiennymi decyzyjnymi, a Metoda algorytmu genetycznego jest bardziej dokładna od Metody Monte Carlo. Stwierdziłem też, że ze względu na powiązania między zmiennymi decyzyjnymi, wynikającymi ze struktury modeli matematycznych, rzeczywiste

zakresy zmienności zmiennych decyzyjnych podczas obliczeń optymalizacyjnych były mniejsze, niż zakres przyjętych ograniczeń. Zauważyłem również, że stosując w praktyce rezultaty uzyskane w wyniku przyjętego sposobu optymalizacji należy wziąć pod uwagę fakt, iż wartości zmiennych decyzyjnych i współczynników modeli matematycznych podczas obliczeń optymalizacyjnych są stałe. Jednak w rzeczywistości podczas pracy sprzęgła zmienne decyzyjne (np. ω), jak i wielkości określające warunki pracy sprzęgła (U, w, T_o) mogą się zmieniać w czasie, co oznacza że w każdej chwili obliczone optymalne wymiary sprzęgła powinny być inne. Z tego powodu przed przystąpieniem do optymalizacji konieczne jest rozpatrzenie zakresu zmian warunków pracy projektowanego sprzęgła hydraulicznego z cieczą ER.

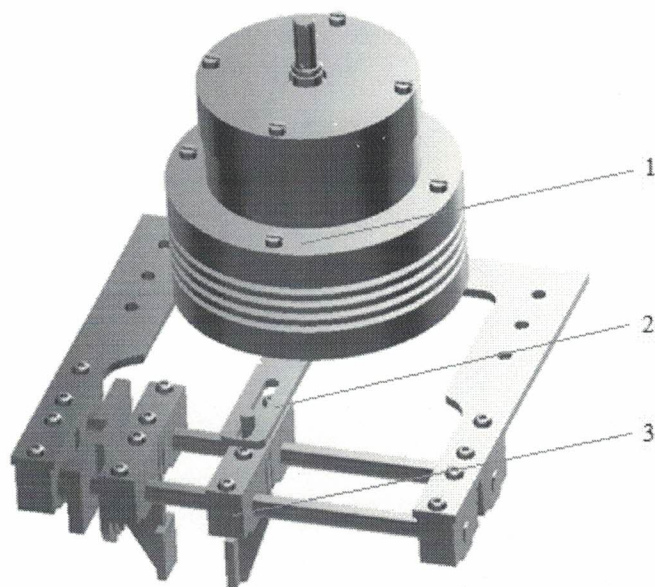
Przeprowadzona przeze mnie optymalizacja sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER obejmowała 3 typy sprzęgieł, 4 modele ich geometrii, 2 ciecze ER, 6 kryteriów optymalizacji, 8 funkcji celu, dwa rodzaje ograniczeń oraz 2 metody optymalizacji. Analizując uzyskane wyniki optymalizacji wykorzystywałem też metody badania przebiegu zmienności funkcji celów oraz metody czułości. Zakres przeprowadzonych przeze mnie prac dotyczących optymalizacji sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER wynika z holistycznego podejścia do procesu projektowania sprzęgieł hydraulicznych z cieczą ER. Jak widać z przeglądu literatury tak szerokie badania teoretyczne dotyczące sprzęgieł hydraulicznych z cieczami ER nie były dotychczas prowadzone. Uzyskane przeze mnie wyniki są nowatorskie i pozwoliły na wytyczenie nowych kierunków rozwoju konstrukcji sprzęgieł hydraulicznych.

Konstrukcja sprzęgła tarczowego z cieczą ER. Na podstawie rozwiązania konstrukcyjnego otrzymanego w procesie optymalizacji konstrukcji zaprojektowałem kilka wersji tarczowego sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER, stosując różne sposoby łożyskowania wałów sprzęgła, różne grubości tarcz i pierścieni dystansowych. Zwróciłem szczególną uwagę na rozmieszczenie powierzchni ciernych oraz sposób usytuowania łożysk. Dobór grubości tarcz oraz szerokości pierścieni dystansowych umożliwiło zmianę szerokości szczeliny roboczej pomiędzy tarczami. Na rys. 6 przedstawiam wybraną ostatecznie konstrukcję sprzęgła wiskotycznego chwybaka.



Rys. 6. Konstrukcja sprzęgła chwybaka z cieczą ER: 1 – wał, 2 – tuleja izolująca, 3 – tarcza wewnętrzna, 4 – przekładka tarczy wewnętrznej, 5 – tarcza zewnętrzna, 6 – przekładka tarczy zewnętrznej, 7 – szczelina robocza, 8 – korpus, 9 – uszczelnienie, 10 – łożyska

Przyjąłem, że układ wykonawczy będzie miał konstrukcję imadłową zawierającą dwie sztywne końcówki chwytne w tym jedną nieruchomą. Szczękę ruchomą połączyłem za pomocą dźwigni z częścią napędzaną sprzęgła wiskotycznego. Układ wykonawczy wyposażylem w tensometryczny czujnik siły służący do pomiaru nacisku szczęk na chwytny obiekt. Konstrukcja końcówek chwytnych umożliwia realizację chwytu siłowego tj. poprzez wytworzenie pola sił działających na obiekt. Przyjąłem, iż ruch końcówki ruchomej realizowany będzie za pomocą łożysk liniowych przemieszczających się po okrągłych prętach. Model bryłowy układu przeniesienia napędu i układu wykonawczego w postaci mechanizmu szczęk, przedstawiam na rys. 7.



Rys. 7. Model bryłowy chwytaka z ciecżą ER: 1 – sprzęgło z ciecżą ER, 2 – dźwignia, 3 – mechanizm szczęk

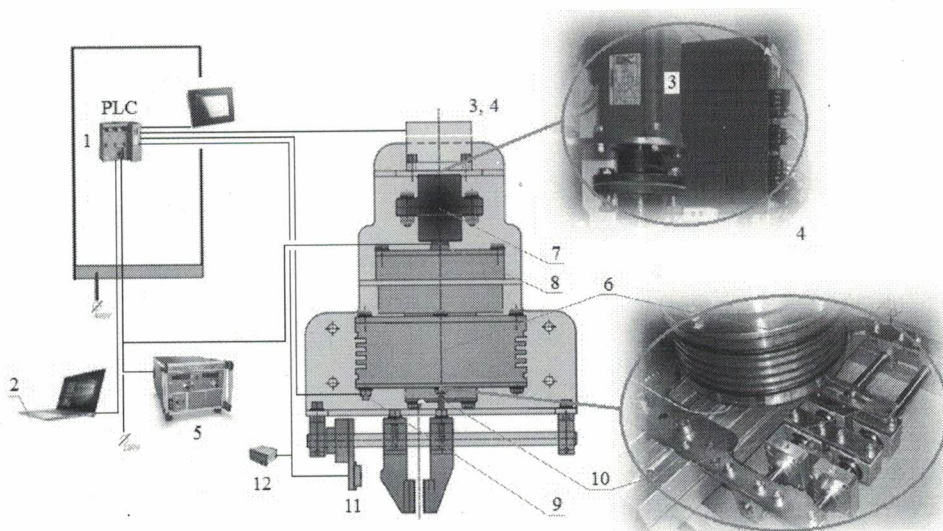
Pomiar temperatury realizowany jest przez zamontowany termometr masowy umożliwiający stały pomiar temperatury cieczy ER. Pomiar wilgotności względnej powietrza jest realizowany za pomocą przetwornika wilgotności umieszczonego w pobliżu sprzęgła. Prędkość kątową odczytywana jest za pomocą enkodera silnika prądu zmiennego. Podczas konstruowania chwytaka z ciecżą ER zwróciłem uwagę na:

- przepływ ciepła, ze względu na fakt, iż ciepło wydzielające się podczas pracy sprzęgła wiskotycznego z ciecżą ER powoduje zmianę właściwości reologicznych cieczy roboczej, co istotnie wpływa na moment przenoszony przez sprzęgło i tym samym na siłę nacisku szczęk;
- objętość sprzęgła z ciecżą ER, ze względu na konieczność ograniczenia jego masy, gdyż cechą sprzęgieł wiskotycznych z ciecżą ER są stosunkowo duże gabaryty.

Pole elektryczne wytwarzane jest w sprzęgłe z ciecżą ER za pomocą zasilacza wysokiego napięcia. Na podstawie zdobytych doświadczeń związanych z realizacją badań stanowiskowych sprzęgieł różnego typu przyjąłem, iż dobór cieczy przeznaczonej do sprzęgła wiskotycznego chwytaka robota powinien uwzględniać fakt, iż moment obrotowy M przenoszony przez sprzęgło jest sumą dwóch składników, z których pierwszy M_1 zależy od μ_0 oraz ω , a drugi M_2 zależy od τ_0 , będącego funkcją napięcia U . Dla koncepcji sterowania za pomocą zmiany napięcia

U należy wybrać ciecz, dla której stosunek M_2/M_1 będzie największy, tj. stosunek τ_0/μ_0 będzie największy. Dla sposobu sterowania zmianą prędkości obrotowej ω należy wybrać ciecz, dla której stosunek τ_0/μ_0 będzie najmniejszy. Ponadto dokonując wyboru cieczy ER do zastosowania w sprzęgle chwytaka robota należy wybrać ciecz, dla której naprężenie styczne τ od szybkości ścinania $\dot{\gamma}$ jest możliwie stałe, co jest korzystne ze względu na realizację procesu sterowania urządzenia. Jak wynika z analizy wyznaczonych przeze mnie charakterystyk dynamicznych sprzęgieł różnej konstrukcji, im silniejsza jest ta zależność, tym większy problem stwarza sterowanie urządzenia wykorzystującego ciecz ER. Podobnie z przeprowadzonej analizy właściwości cieczy ER dostępnych na rynku wynika, że najlepiej wymagania to spełniają heterogeniczne ciecze ER, np. ERF#6 oraz ERF3-S-I. Celem ustalenia właściwości elektreologicznych cieczy ERF#6 przeznaczonej do chwytaka ciecz poddałem badaniom za pomocą urządzenia do badań cieczy ER o konstrukcji zbliżonej do konstrukcji reometru cylindrycznego, jednak o znacznie większej średnicy głowicy pomiarowej, zbliżonej do średnicy sprzęgła chwytaka. Podczas badań mierzyłem wartość siły F w zależności od prędkości kątowej ω dla różnych wartości napięcia elektrycznego. Wszystkie wielkości fizyczne rejestrowałem za pomocą komputerowego układu pomiarowego. Na podstawie otrzymanych zależności F od ω wyznaczyłem charakterystyki typu $\tau = f(\dot{\gamma})$. Zróżnicowane warunki pracy cieczy występujące podczas przepływu ze ścinaniem powodują, iż w celu poprawy jakości procesu projektowania charakterystyki cieczy ER powinny być wyznaczane nie tylko za pomocą typowych reometrów, ale także za pomocą urządzeń o zbliżonej konstrukcji do tych, w których są stosowane. Poprzez porównanie charakterystyk cieczy można zweryfikować przyjęty sposób projektowania.

Badania eksperymentalne. Badania eksperymentalne pracy chwytaka z cieczą ER przeprowadziłem na specjalnie zbudowanym do tego celu stanowisku badawczym składającym się z silnika elektrycznego, zasilacza wysokiego napięcia, komputera PC oraz sterownika PLC, rys. 8.



Rys. 8. Schemat budowy stanowiska badawczego: 1 – sterownik PLC, 2 – komputer PC, 3 – silnik elektryczny, 4 – sterownik silnika elektrycznego, 5 – zasilacz wysokiego napięcia, 6 – sprzęgło wiskotyczne z cieczą ER, 7 – sprzęgło, 8 – pierścień ślizgowy i szczotki, 9 – czujnik temperatury, 10 – dźwignia, 11 – czujnik siły, 12 – wskaźnik cyfrowy wskaźnika siły

Stanowisko umożliwiło pomiar i rejestrację w czasie t następujących wielkości fizycznych: siły nacisku F , prędkości kątovej silnika elektrycznego ω , napięcia sterującego U podawanego z zasilacza wysokiego napięcia, prądu upływu I_u oraz temperatury T cieczy ER. Rejestracja wyników pomiarów odbywała się za pomocą komputerowego systemu pomiarowego zawierającego komputer PC z oprogramowaniem do rejestracji danych pomiarowych w czasie rzeczywistym.

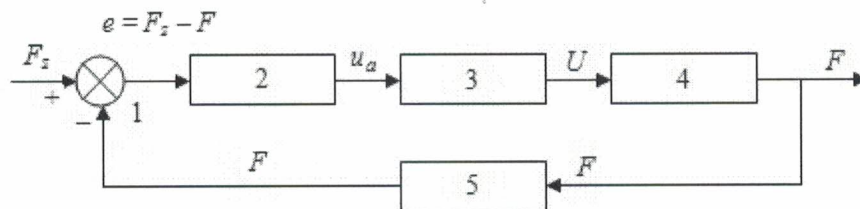
Weryfikację poprawności działania chwytaka przeprowadziłem kilkietapowo. W pierwszej kolejności dokonałem oceny poprawności działania (przez testowanie) poszczególnych podzespołów chwytaka mających bezpośredni wpływ na realizację chwytu. Kolejny etap polegał na sprawdzeniu poprawności działania układu zasilania wysokiego napięcia, w tym szczegółowej analizie zależności prądu upływu I_u od napięcia elektrycznego U i temperatury T . Ostatnim etapem przeprowadzonej przeze mnie weryfikacji poprawności działania chwytaka była ocena warunków pracy w tym ocena stabilności temperaturowej, a także ocena siły chwytu. Badania siły chwytu realizowałem dla dwóch położzeń szczęk chwytaka, tj. przesuniętych możliwie najdalej od osi sprzęgła i możliwie najbliżej do osi sprzęgła. Pomiary wykonywałem przy stałej temperaturze cieczy T i stałej wilgotności względnej w dla różnych wartości prędkości kątovej ω i napięcia elektrycznego U . Celem oceny poprawności doboru cieczy ERF#6, a także oceny wpływu właściwości elektreologicznych na siłę chwytu cieczy ER o innym składzie przeprowadziłem również badania siły chwytu chwytaka z cieczą ERF3-S-I. Zmiana napięcia elektrycznego U w pełnym zakresie regulacji zasilacza wysokiego napięcia spowodowała kilkukrotne zwiększenie siły chwytu F . Dla wybranej prędkości kątovej ω , w wyniku doprowadzenia maksymalnego napięcia elektrycznego U , siła chwytu F wzrosła co najmniej dwukrotnie.

Układ sterowania chwytaka. Ogólną koncepcję sterowania chwytakiem z cieczą ER oparłem na założeniu, że na wartość siły F wywieranej na szczeki chwytaka mają wpływ dwie wielkości: wysokie napięcie U przyłożone do elektrod sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER oraz prędkość kątowa ω_1 wału elektrycznego silnika napędowego. Przyjąłem, że sterowanie będzie odbywać się w oparciu o sterownik PLC, który za pomocą napięcia sterującego będzie wpływał zarówno na prace zasilacza wysokiego napięcia, jak i silnika elektrycznego. Przyjąłem, iż sterowanie chwytakiem z cieczą ER będzie realizowane w układzie zamkniętym.

W celu uproszczenia układu sterowania przyjąłem, że:

- sterownik będzie utrzymywał stałą nastawioną prędkość obrotową wału wejściowego sprzęgła wiskotycznego, natomiast zakłócenia będą kompensowane przez zmiany wysokiego napięcia U ;
- jako zakłócenia będą traktowane zmiany siły F występujące na skutek uderzeń w obrębie trzymanego przedmiotu i szczęk;
- zmiany temperatury i wilgotności powietrza, mające istotny wpływ na warunki pracy sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER, nie będą traktowane jako zakłócenia ze względu na ich wolnozmienny charakter.

Schemat układu regulowania siły F ze sprzężeniem zwrotnym przedstawiam na rys. 9.



Rys. 9. Schemat układu regulacji ze sprzężeniem zwrotnym siły nacisku szczęk chwytaka: 1 – sumator, 2 – regulator, 3 – zasilacz wysokiego napięcia, 4 – sprzęgło wiskotyczne z cieczą ER oraz z dźwignią, 5 – czujnik siły

Według przyjętej koncepcji sterowania układ regulacji ze sprzężeniem zwrotnym siły nacisku szczęk chwytaka F jest wyposażony w regulator. Regulator ten nie jest wydzielonym podzespołem elektronicznym, ale powstał w wyniku zaprogramowania sterownika PLC. Siła F mierzona jest za pomocą czujnika tensometrycznego, naciskanego przez dźwignię połączoną z wałem wyjściowym sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER. Uchyb regulacji e , który jest różnicą pomiędzy zadaną siłą F_z a zmierzoną siłą F , jest doprowadzany do wejścia regulatora. Wielkość sterująca z regulatora u_a podawana jest na wejście zasilacza wysokiego napięcia. Sygnał wyjściowy zasilacza wysokiego napięcia w postaci wysokiego napięcia U jest doprowadzany do elektrod tarczowego sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER.

Z przeprowadzonych przeze mnie badań chwytaka z cieczą ER na stanowisku badawczym wynika, że odpowiedź tarczowego sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER na skokową zmianę wysokiego napięcia nie jest natychmiastowa. Wzrost siły nacisku F następuje po pewnym czasie. Przyczynami występowania zwłoki czasowej w sprzęgle wiskotycznym z cieczą ER jest głównie bezwładność wirujących elementów, ale także zależne od czasu procesy polaryzacji i depolaryzacji cząstek stałych cieczy ER zachodzące podczas tworzenia się i rozpadania przestrzennych łańcuchów złożonych z cząstek stałych.

W celu wyboru rodzaju regulatora przeprowadziłem symulację pracy układu sterowania chwytaka z cieczą ER z wykorzystaniem programu Matlab Simulink. Pierwszym etapem badań symulacyjnych było określenie modelu matematycznego sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER. W kolejnym etapie badań symulacyjnych obliczałem przebieg siły $F(t)$ dla różnych nastaw regulatorów P, PI, PD oraz PID przy skoku siły F_z , będącej wielkością zadającą dla układu regulacji ze sprzężeniem zwrotnym. Na podstawie otrzymanych wyników badań stwierdziłem, iż zastosowanie regulatora PI w układzie regulacji siły F chwytaka jest bardziej korzystne, gdyż prowadzi do uzyskania mniejszego odchylenia dynamicznego przy porównywalnym czasie regulacji. Ponadto ze względu na fakt, iż procesy dynamiczne w chwytaku z cieczą ER mają charakter wolnozmienny, człon D regulatora PID może zostać pominięty. Z tych powodów w układzie regulacji chwytaka z cieczą ER stosowałem regulator P lub PI.

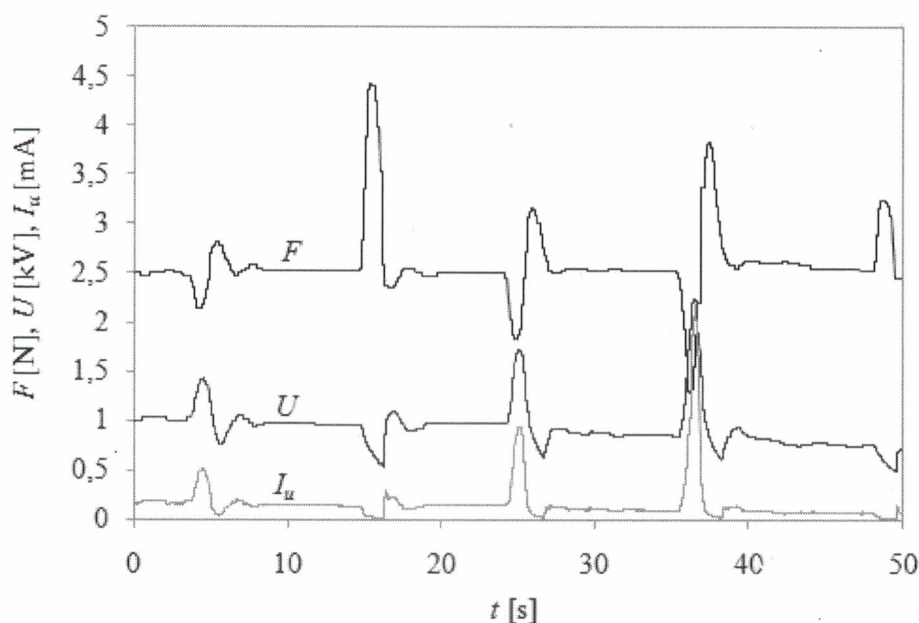
Podczas projektowania układu regulacji chwytaka z cieczą ER wziąłem też pod uwagę fakt, iż będzie on przeznaczony do prowadzenia badań eksperymentalnych nad sposobami sterowania oraz że podczas pomiarów mogą wystąpić duże odstępstwa od spodziewanych lub wcześniej otrzymanych wyników, gdyż proces tworzenia się łańcuchów cząstek w cieczy ER jest losowy i zależny nie tylko od wartości wysokiego napięcia U , lecz również czasu przyłożenia tego napięcia. Dlatego nastawy regulatora PI, wartości punktów ustalonych czy wielkość skoków sygnałów wymuszających

dobierałem na podstawie wcześniejszych prowadzonych przeze mnie badań eksperymentalnych oraz badań wstępnych tak, by otrzymać wyniki reprezentatywne dla grupy danych, łatwe do interpretacji (np. krzywe nie pokrywające się) oraz niezbyt liczne tak, by można je w rozsądnym czasie podać analizie.

Badania eksperymentalne poprawności działania układu sterowania chwytaka z cieczą ER zrealizowałem dla chwytaka o dwóch długościach ramienia dźwigni l . Dla ustalonych wartości prędkości kątowych ω wału sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER oceniłem odpowiedź układu regulacji siły F na działanie:

- wymuszenia skokowego wybranych wielkości;
- zakłócenia impulsowego siły F , powstałego w wyniku uderzenia w trzymany w szczekach przedmiot;
- zakłócenia losowe powstające bez oddziaływania zewnętrznego na chwytak.

Na rys. 10 dla przykładu przedstawiam przebieg napięcia sterującego U , prądu upływu I_u oraz siły szczek chwytaka F spowodowane zakłóceniem impulsowym siły F .



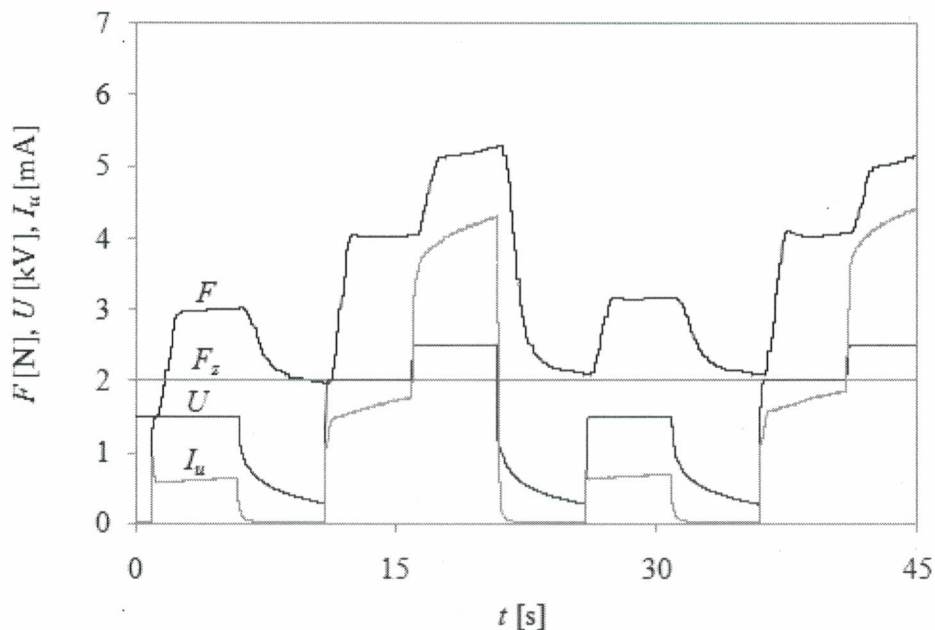
Rys. 10. Przebieg napięcia sterującego U , prądu upływu I_u oraz siły F spowodowany zakłóceniem impulsowym siły F dla $l = 0,105$ m, $\omega = 80$ rad/s oraz $K_p = 1$, $K_i = 0,3$

Na podstawie przeprowadzonych przeze mnie pomiarów można stwierdzić, że podczas regulacji siły F czasy opóźnienia między napięciem U , a siłą F są mniejsze od 0,5 s, a czasy regulacji są mniejsze od 2,5 s w szerokim zakresie prędkości kątowej ω zarówno przed, jak i po modyfikacji konstrukcji chwytaka. Ponadto gdy nie występują oddziaływania zewnętrzne na chwytak, siła F jest utrzymywana na stałym poziomie z dokładnością 0,1 N. Takie wyniki można uznać całkowicie za zadowalające, gdy weźmie się pod uwagę poczynione uproszczenia, stałe czasowe wzmacniacza wysokiego napięcia i regulowanego sprzęgła wiskotycznego z cieczą ER.

Ze względu na złożoność zjawisk elektreologicznych zachodzących w cieczy ER, wynikających głównie z losowego charakteru powiązań między cząstkami stałymi cieczy ER objawiających się zmianami w czasie naprężeń stycznych w cieczy ER, a tym samym wahaniem siły szczek chwytaka F , klasyczne metody doboru

parametrów nastaw regulatora nie dawały zadawalających wyników, dlatego dobór nastaw regulatora przeprowadziłem w oparciu o metody eksperymentalne.

Poprawność układu sterowania prototypu chwytaka z cieczą ER oceniłem także przy założeniu, że podczas pracy układu regulacji nastąpią zmiany warunków zewnętrznych takich jak: temperatura T , wilgotność w , napięcie U , prędkość kątowna ω . Jako kryterium oceny wpływu zmiany temperatury i wilgotności na poprawną pracę układu sterowania przyjąłem zmianę wartości zadanej siły F , a jako kryterium oceny wpływu zmiany napięcia i prędkości kątowej na poprawną pracę układu sterowania przyjąłem czas powrotu do warunków ustalonych. Pomimo zmiany temperatury T cieczy ER o $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ i spowodowanym tym kilkunastokrotnym wzrostem prądu upływu I_u odchylenia siły F od jej zadanej wartości są mniejsze od 5% , przy czym na zmiany te mogły mieć również wpływ pozostałe zakłócenia. Na wzrost wilgotności cieczy roboczej wskazywał wzrost prądu upływu I_u . Na rys. 11 dla przykładu przedstawiam wpływ skokowych zmian wysokiego napięcia, traktowanych jako zakłócenia na przebiegi siły F .



Rys. 11. Zmiany siły F oraz prądu upływu I_u spowodowane wzrostem napięcia U dla $\omega = 80\text{ rad/s}$, $K_p = 1,0$; $K_i = 0,3$

W przypadku zmian napięcia, traktowanych jako zakłócenia siły F , powrót układu regulacji do stanu ustalonego trwa kilka sekund. Taki czas można uznać za akceptowalny, gdyż zmiany napięcia podczas badań były duże. Należy ocenić, że mimo zmian warunków pracy w granicach występujących w praktyce prototyp chwytaka pracuje poprawnie.

Trwałość chwytaka. Biorąc pod uwagę specyficzne warunki pracy urządzeń z cieczami ER ocenę trwałości chwytaka przeprowadziłem na podstawie:

- spadku wartości siły chwytu F w określonym czasie i ustalonych warunkach pracy,
- oględzin zużycia elementów mechanicznych.

Uzyskane przez mnie wyniki badań wskazują, iż chwytak działał stabilnie, tj. wartość średnia siły chwytu F nie zmieniała się podczas 200 godz. pracy.

Podsumowanie. Zastosowanie cieczy ER w sprzęgle wiskotycznym chwytaka robota przemysłowego umożliwi sterowanie wartością siły chwytu F zarówno za pomocą zmiany prędkości kątowej ω , jak i napięcia elektrycznego U . Zakres sterowania siłą chwytu poprzez zmianę prędkości kątowej ω i napięcia elektrycznego U jest zależny od właściwości reologicznych cieczy roboczej. Sterowanie przez zmianę napięcia U jest szybsze i odbywa się przy mniejszych prędkościach kątowych ω , co jest korzystne ze względu na trwałość cieczy ER. Regulowanie siły chwytu F może się odbywać za pomocą wysokiego napięcia U w układzie regulacji ze sprzężeniem zwrotnym.

Układ regulacji ze sprzężeniem zwrotnym, oparty na regulatorze PI, zapewnił uzyskanie siły chwytu w badanym prototypie chwytaka z cieczą ER w założonym zakresie. Podczas regulacji stałowartościowej siły F w szerokim zakresie prędkości kątowej ω czasy opóźnienia między napięciem U a siłą F były mniejsze od 0,5 s, czasy regulacji były mniejsze od 2,5 s, a siła F była utrzymywana na stałym poziomie z dokładnością do 0,1 N.

Na podstawie uzyskanych stałych wartości siły chwytu $F = f(t)$ podczas wielogodzinnej pracy chwytaka z cieczą ER w warunkach ustalonych cząstki cieczy ER nie uległy destrukcji, a sama ciecz nadawała się do dalszego użytku. Otrzymane wyniki wskazują na możliwość pracy chwytaka w warunkach pracy ciągłej. Uzyskane wartości siły chwytu dla tego typu cieczy roboczych umożliwiają ich praktyczne zastosowanie w chwytakach robotów przemysłowych.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

W latach 2015-2016 byłem zatrudniony w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Sandomierzu w Instytucie Technicznym na stanowisku starszy wykładowca. Wtedy kontynuowałem prace badawcze związane z tematem mojej rozprawy doktorskiej, m. in. dotyczące zastosowania systemów doradczych w projektowaniu podzespołów hydraulicznych. Dostępna w jednostce naukowej aparatura badawcza umożliwiła mi rozpoczęcie prac badawczych związanych z badaniem właściwości i zastosowaniem cieczy typu *smart fluid* w podzespołach hydraulicznych maszyn. Rezultatem badań prowadzonych przeze mnie w tej jednostce są artykuły naukowe opublikowane w czasopismach naukowych np.:

1. Osowski K., Kęsy A., Kęsy Z., Olszak, A. (2016). Experimental researches of hydraulic clutches with smart fluids. *International Review of Mechanical Engineering* (IREME), 10, 364–372.

Podczas pracy w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Sandomierzu nawiązałem kontakt z Instytutem Nowych Syntez Chemicznych w Puławach (obecnie Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Nowych Syntez Chemicznych), co pozwoliło mi na korzystanie z zaawansowanej aparatury chemicznej do badania rozkładu cząstek cieczy, będącej w dyspozycji tego Instytutu. Z pracownikami tego Instytutu realizowałem prace badawcze dotyczące badań nowych cieczy roboczych na bazie olejów roślinnych. Efektem prowadzonych tam badań są opublikowane w czasopismach naukowych dwa artykuły naukowe:

1. Olszak A., Dobrzyńska-Inger A., Rogoś E., Osowski K., Musiałek, I. (2020). Właściwości wybranych olejów roślinnych w aspekcie zastosowania w produkcji przyjaznych dla środowiska środków smarnych. *Przemysł Chemiczny*, 1735–1739. <https://doi.org/10.15199/62.2020.12.8>.

2. Olszak A., Osowski K., Musiałek I., Rogoś E., Kęsy A., Kęsy Z. (2020). Application of plant oils as ecologically friendly hydraulic fluids. *Applied Sciences-Basel*, 10, 9086. <https://doi.org/10.3390/app10249086>.

Wraz z pracownikami Instytutu Nowych Syntez Chemicznych w Puławach brałem udział w projektach badawczych finansowanych z dotacji podmiotowej na utrzymanie potencjału badawczego, m. in. projektu pt.: *Zastosowanie nowoczesnych materiałów i nowych technologii*, nr 3091/23/P (DBUPB/2015/003), realizowanego w Instytucie Mechaniki Stosowanej i Energetyki Uniwersytetu Humanistyczno-Technologicznego w Radomiu, którego byłem pracownikiem. Współpraca z Instytutem Nowych Syntez Chemicznych w Puławach przyczyniła się do zawiązania konsorcjum naukowego (Umowa konsorcjum - *Załącznik nr 1*), którego celem była realizacja międzynarodowego projektu badawczego w ramach Polsko-Tajwańskiej współpracy badawczej nr PL-TW/III/6/2015: *Innovative Application of Smart Fluid in Industrial Robot Gripper* (2016-2018). Instytucją naukową ze strony Tajwańskiej, współrealizującą projekt w ramach współpracy dwustronnej był *National Tsing Hua University* (International Cooperation Agreement - *Załącznik nr 2*). Obecnie współpraca z Instytutem Nowych Syntez Chemicznych w Puławach jest kontynuowana w ramach realizacji kierowanej przeze mnie pracy badawczej pt. *Zastosowanie nowoczesnych materiałów i technologii wytwarzania w budowie podzespołów maszyn*, nr 3476/183/P (DBUPB/2020/006), realizowanej na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu. W ramach realizacji projektu nawiązałem także współpracę z Siecią Badawczą Łukasiewicz - Instytut Technologii Eksploatacji celem możliwości współpracy w ramach prac zleczanych (sprawozdanie z badań- *Załącznik nr 3*).

Prowadząc działalność naukową, kontynuuję współpracę zapoczątkowaną w Instytucie Technicznym Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Sandomierzu, który w wyniku zmian strukturalnych został przekształcony w Samodzielny Zakład Mechatroniki, Filia w Sandomierzu, Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach. Zakład ten realizował w latach 2020-2023 umowę dwustronną (*Załącznik nr 4*) ze Smart Structures and Systems Laboratory, Inha University, Incheon, South Korea, której jestem beneficjentem. Mam możliwość prowadzenia konsultacji i wspólnego publikowania z kierownikiem tego laboratorium wybitnym specjalistą w zakresie cieczy ER- prof. S. B Choi'em (indeks Hirscha 64). Efektem tej współpracy jest 5 wspólnych artykułów naukowych opublikowanych w wysoko punktowanych międzynarodowych czasopismach naukowych takich jak: *Frontiers in Materials*, *Smart Materials and Structures*, *Sensors*.

Kolejnym efektem mojej wielośrodkowej aktywności naukowej jest zawarta umowa, której jestem inicjatorem, tj. umowa konsorcjum naukowego Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu z Uniwersytetem Jana Kochanowskiego w Kielcach (*Załącznik nr 5*). Zawarcie umowy umożliwiło złożenie wniosku badawczego w ramach międzynarodowej współpracy badawczej, zawartej z *National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan* (XI Polsko-Tajwański Konkursu na dwustronne projekty badawcze).

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Moje osiągnięcia dydaktyczne obejmują prawie dziesięcioletnie doświadczenie w prowadzeniu zajęć dydaktycznych o szerokim zakresie tematycznym na wielu

kierunkach, m. in.: Robotyka i automatyzacja procesów, Mechatronika, Mechanika i budowa maszyn, Samochody i bezpieczeństwo w transporcie drogowym, Zarządzanie i inżynieria produkcji. Do zajęć dydaktycznych tego typu zaliczyć można m. in.:

- Komputerowe wspomaganie prac inżynierskich,
- Podstawy optymalizacji konstrukcji,
- Technologie informacyjne,
- Systemy graficzne CAD,
- Komputerowe wspomaganie projektowania,
- Projektowanie zespołów napędowych.

Uzyskane kompetencje do prowadzenia zajęć o szerokim zakresie tematycznym są poparte publikacjami naukowymi, a także wynikają z posiadanych przeze mnie kwalifikacji pedagogicznych związanych z ukończeniem studiów na Wydziale Nauczycielskim w specjalności nauczania przedmiotów technicznych i informatycznych. Biorę czynny udział w przygotowywaniu nowych i aktualizacji istniejących pomocy dydaktycznych, a także organizacji i modernizacji stanowisk dydaktycznych, np. stanowiska laboratoryjne do realizacji przedmiotu Podstawy reologii. Biorę czynny udział w opracowywaniu treści zajęć w formie opracowywania sylabusów dla nowotworzonych kierunków studiów, np. kierunku "Zarządzanie i inżynieria produkcji", "Robotyka i automatyzacja procesów". Biorę czynny udział w realizacji procesu dyplomowania, byłem promotorem oraz recenzentem kilkunastu prac dyplomowych (inżynierskie i magisterskie) realizowanych na kierunkach Mechanika i budowa maszyn oraz Mechatronika. Pełniłem funkcję promotora pomocniczego dwóch wyróżnionych prac doktorskich:

1. Iwanicki W. Sterowanie sprzęgła hydrokinetycznego przez zmianę natężenia przepływu cieczy roboczej. Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno- Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, data obrony: 17.01.2019 r.
2. Mędrak G. Optymalizacja tarczowego sprzęgła wiskotycznego z cieczą elektoreologiczną. Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno- Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, data obrony: 21.04.2022 r.

Pod moją opieką jeden z doktorantów przygotował dwa wystąpienia i wziął czynny udział w cyklicznie odbywającej się konferencji naukowej pt. *Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce*. Efektem tego typu działań są dwa artykuły naukowe opublikowane jako rozdziały w monografiach:

1. Iwanicki W., Osowski K. *Sposoby sterowania sprzęgieł hydrokinetycznych*. [w:] Nauki techniczne i inżynierskie. Tom 1, red. J. Nyckowiak i J. Leśny. Młodzi Naukowcy 2015. *Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce*. Monografie, 2015, 64–68;
2. Iwanicki W., Olszak A., Osowski K. *Problematyka projektowania sterowanych sprzęgieł z cieczami magnetoreologicznymi*. Nauki techniczne i inżynierskie. Część VI, red. J. Leśny i J. Nyckowiak, Młodzi Naukowcy 2016. *Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce*. Monografie, 2016, 21–27.

Jestem redaktorem naukowym i autorem rozdziału wieloautorskiej monografii: Osowski K. *Nowoczesne materiały, technologie i metody w technice: praca zbiorowa*, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Radom 2022, Monografie - Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego zawierającej zbiór monotematycznych artykułów

o charakterze naukowym dotyczących szeroko rozumianych zagadnień związanych z zastosowaniem nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych oraz technologii i metod wytwarzania w różnych dziedzinach techniki w tym budowie maszyn i budownictwie. Celem przygotowania monografii było umożliwienie studentom i nauczycielom akademickim poszerzenia i aktualizacji wiedzy z tego zakresu. Wiedza ta może być wykorzystana do opracowania przygotowania materiałów dydaktycznych i unowocześnienia treści zajęć dydaktycznych, opracowania i uruchamiania nowych kierunków studiów czy realizacji prac inżynierskich, magisterskich i doktorskich.

W ramach osiągnięć organizacyjnych przede wszystkim czynnie uczestniczę w pracach komisji i zespołów powoływanych przez organy kolegialne. W latach 2017-2020 pełniłem funkcję członka Komisji Dyscyplinarnej ds. Doktorantów. Obecnie jestem przewodniczącym Kierunkowej Komisji ds. Oceny Efektów Uczenia się powołanej dla kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji. Jako promotor pomocniczy brałem udział w pracach Komisji Doktorskiej ds. przewodów doktorskich mgr inż. Wojciecha Iwanickiego i mgr inż. Grzegorza Mędrka. Brałem także udział w pracach Komisji Przetargowej (Wydział Mechaniczny Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu) powołanej celem przeprowadzenia postępowania na dostawę wraz z montażem i uruchomieniem drukarki 3D do druków z proszków metalicznych wraz z osprzętem. W 2017 r. uczestniczyłem w pracach zespołu przygotowującego raport samooceny dla kierunku MiBM, Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu. Od 2017 r. jestem opiekunem laboratorium Zespołów Napędowych, w którym realizowane są zajęcia dydaktyczne oraz prace badawczo-rozwojowe związane z realizacją projektów badawczych m in. projektu pt. *Innovative Application of Smart Fluid in Industrial Robot Gripper* (2016-2018). W latach 2015-2016, będąc zatrudniony w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Sandomierzu na stanowisku starszy wykładowca, pełniłem także funkcję administratora uczelnianej strony internetowej. W okresie przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora nauk technicznych zrealizowałem zlecenie mające na celu uruchomienie Akademickiego Centrum Kształcenia przy Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Sandomierzu.

Do najważniejszych osiągnięć popularyzujących naukę należy pełnienie funkcji opiekuna Studenckiego Koła Naukowego "DRON-K". Efektem pracy członków SKN DRON-K jest zbudowanie m. in. podwozia pojazdu gąsiennicowego metodami druku 3D. Sposobnością do popularyzacji efektów pracy studentów był mój udział jako reprezentanta Wydziału Mechanicznego UTH w Radomiu w targach "STOM. Przemysłowa wiosna 2023", odbywających się w dniach 28-31.03.2023 r. w Kielcach. Działania mające na celu popularyzację nauki podejmuję także, uczestnicząc w cyklicznych spotkaniach popularnonaukowych pt. "Fakty i mity spotkania z techniką" organizowanych przez sekcję SIMP Radomskiej Rady Federacji Stowarzyszeń Naukowo Technicznych, której jestem czynnym członkiem.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Realizując badania naukowe w dziedzinie inżynieria mechaniczna, po doktoracie staram się nie ograniczać obszaru badań naukowych wyłącznie do rozwijanych przeze mnie obszarów naukowych koncentrujących się wokół badań nad zastosowaniem cieczy typu *smart fluids* w podzespołach maszyn, w tym chwytaków robotów. Podczas realizacji prac związanych z wytwarzaniem metodami druku 3D części do badanych

przeze mnie sprzęgieł i hamulców hydraulicznych z cieczą ER skupiłem uwagę na wybranych problemach badawczych związanych z tą technologią. Efektem aktywności naukowej w tym zakresie było przygotowanie przeze mnie i wygłoszenie referatu pt. *Expert System for 3D Printing Technology* na wiodącej w tej tematyce, międzynarodowej cyklicznej konferencji naukowej RAPDASA 2014. *The 15th Annual International Conference Rapid Product Development Association of South Africa. Talent Driver Innovation*, odbywającej się corocznie w Republice Południowej Afryki. Udział w tego typu konferencji pozwolił mi nawiązać kontakt z niekwestionowanym autorytetem naukowym w tym zakresie- prof. Dimitri Dimitrowem- kierownikiem *Rapid Product Development Laboratory, Department of Industrial Engineering, Stellenbosch University, South Africa*.

Ponadto jestem współautorem kilku publikacji naukowych z zakresu druku 3D, a także współautorem dwóch rozdziałów w *Wohlers Report*, cyklicznym, światowym raporcie wydawanym w Waszyngtonie, USA, poświęconym rozwojowi branży wytwarzania przyrostowego, uwzględniającym 10 sektorów światowego przemysłu.

Efektem moich starań nawiązania współpracy z przemysłem w zakresie prac badawczo-rozwojowych dotyczących druku 3D było zainicjowanie spotkania w Centrum Badawczo - Rozwojowym KGHM Cuprum i wygłoszenie w siedzibie spółki seminarium pt. *Zastosowanie proszku miedzi, jako materiału w drukarkach 3D drogą do zwiększenia sprzedaży miedzi*. Efektem realizowanych prac w zakresie zastosowania proszków miedzi w technologii wytwarzania jest uzyskany patent: **Pat.238834** Osowski K., Olszak A., Kęsy Z. Kęsy A.: Wymiennik ciepła o zintensyfikowanej wymianie ciepła.

Ze względu na bardzo szybko postępujący rozwój technologii druku 3D w medycynie, celem poszerzenia kompetencji i kwalifikacji w tym zakresie, wziąłem udział w konferencji naukowej pt. *Drukowanie 3D przyszłością w medycynie*. Celem zainicjowania współpracy wielośrodkowej przygotowałem i wygłosiłem referat pt. *Tworzenie implantów medycznych z proszków metali z zastosowaniem drukarek 3D* w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Sandomierzu. Efektem podejmowanych przeze mnie działań naukowych jest złożony do Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w 2023 r. wniosek o realizację międzynarodowego projektu bilateralnego pt. *Development and characterization of copper-infused titanium alloys for advanced implants using 3D Printing*, którego wnioskodawcą jest konsorcjum międzynarodowe złożone z polskich i tajwańskich podmiotów badawczych.

Jako uczestnik Studiów Doktoranckich uzyskałem stypendium Marszałka Województwa Mazowieckiego dla doktorantów oraz stypendium Rektora Politechniki Radomskiej im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu dla najlepszych doktorantów.

Jako pracownik Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu w latach 2021 i 2022 otrzymałem nagrody zespołowe za osiągnięcia naukowe.

W ramach podnoszenia swoich kompetencji odbyłem kursy i szkoleniach dla pracowników nauki:

- Zagadnienia zarządzania badaniami naukowymi oraz komercjalizacji rezultatów prac B+R z praktycznymi aspektami opracowania oferty technologicznej, w ramach części warsztatowej.
- Własność intelektualna oraz ochrona patentowa.
- Pozyskiwanie środków na innowacyjne badania naukowe, komercjalizacja oraz marketing innowacji.
- Skuteczna komunikacja z biznesem.

W latach 2016-2017 byłem członkiem światowej organizacji International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science (IFTOMM), Grupa robocza ds. młodych naukowców WG11.

.....*Maciej Osowski*.....
(podpis wnioskodawcy)