

AUTOREFERAT

**dr Jakub Takosoglu
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii
Zakład Urządzeń Mechatronicznych**

Załącznik nr 2

do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego

KIELCE 2019

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko.

Jakub Takosoglu

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

- technik elektronik, specjalność elektronika ogólna. Technikum Elektroniczne im. Bohaterów Westerplatte w Radomiu, 1995 Radom.
- licencjat na kierunku fizyka w zakresie nauczania fizyki. Praca licencjacka na temat „Analiza ćwiczenia laboratoryjnego pt. Badanie pojemności kondensatora”, promotor dr Stanisław Nowak, Wydział Nauczycielski Politechniki Radomskiej, Radom 1998.
- magister na kierunku fizyka w zakresie fizyka z podstawami informatyki. Praca magisterska na temat „Izotopy radioaktywne w medycynie i biologii”, promotor prof. dr hab. Sławomir Chojancki, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Kielce, 2000.
- doktor nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn w specjalności systemy sterowania pneumatycznych urządzeń automatyki i robotów, praca doktorska pod tytułem „Analiza i synteza wieloosiowego serwonapędu pneumatycznego z regulacją rozmytą”, promotor dr hab. inż. Ryszard Dindorf, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2006 – praca wyróżniona.

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:
 - 2007-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.:

„Problemy sterowania, dynamiki i eksploatacji układów pneumatycznych”

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

- A1. Takosoglu J. E., Dindorf R. F., Laski P. A.: *Rapid prototyping of fuzzy controller pneumatic servo-system*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume: 40, Issue: 3-4, Pages: 349-361, Springer 2009. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 15, impact factor w roku wydania: 1,128) – mój udział procentowy szacuję na 60%.
- A2. Takosoglu J. E., Laski P. A., Blasiak 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 Volume: 226, Issue: 10, Pages: 1335-1343, Sage 2012. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 15, impact factor w roku wydania: 0,667) – mój udział procentowy szacuję na 60%.
- A3. Blasiak, S., Laski, P. A., Takosoglu, J. E., *Parametric analysis of heat transfer in noncontacting face seals*, International Journal of Heat and Mass Transfer Volume: 57, Issue: 1, Pages: 22-31, Elsevier 2013. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 40, impact factor w roku wydania: 2,522) – mój udział procentowy szacuję na 20%.
- A4. Laski P. A., Takosoglu J. E., Blasiak S.: *Design of a 3-DOF tripod electro-pneumatic parallel manipulator*, Robotics and Autonomous Systems, Volume: 72, Pages: 59-70, Elsevier 2015. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 25, impact factor w roku wydania: 1,618) – mój udział procentowy szacuję na 20%.
- A5. Takosoglu J. E., Laski P. A., Blasiak S., Bracha G., Pietrala D.: *Determining the static characteristics of pneumatic muscles*, Measurement and Control, Volume: 49, Issue: 2, Pages: 62-71, Sage 2016. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 15, impact factor w roku wydania: 0,772) – mój udział procentowy szacuję na 60%.
- A6. Takosoglu J. E.: *Control system of delta manipulator with pneumatic artificial muscles*, in: Proc. 22nd International Conference on Engineering Mechanics 2016 (eds. Zolotarev, I. and Radolf, V.), Pages: 546-549, Czech Republic 2016. (materiały konferencyjne indeksowane na WoS, liczba punktów w roku wydania: 15) – mój udział procentowy szacuję na 100%.

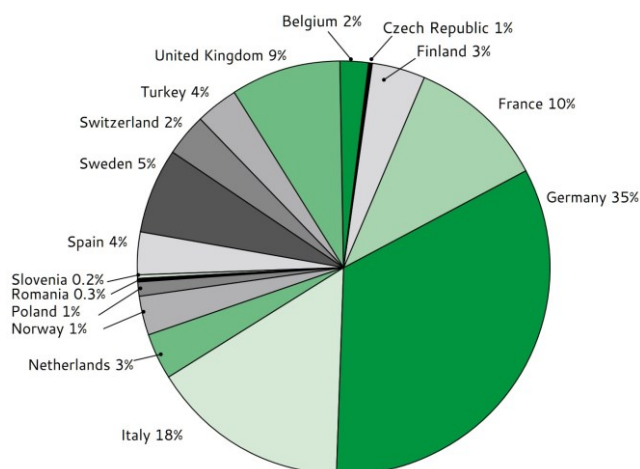
- A7. Dindorf R., Takosoglu J., Woś P.: *Development of pneumatic control systems*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2017. (monografia, liczba punktów w roku wydania: 25) – mój udział procentowy wynikający z liczby stron monografii szacuję na 31%, jestem autorem rozdziałów 1.5 i 2.
- A8. Krzysztofik I., Takosoglu J., Koruba Z.: *Selected methods of control of the scanning and tracking gyroscope system mounted on a combat vehicle*, Annual Reviews in Control, Volume: 44, Pages:173-182, Elsevier 2016. (lista A MNiSW, liczba punktów w roku wydania: 40, impact factor w roku wydania: 2,627) – mój udział procentowy szacuję na 30%.
- A9. Takosoglu J. E.: *Dynamic characteristics of pneumatic artificial muscles*, in: Proc. 23rd International Conference on Engineering Mechanics 2017 (ed. Fuis V.), Pages: 978-981, Czech Republic 2017. (materiały konferencyjne indeksowane na WoS, liczba punktów w roku wydania: 15) – mój udział procentowy szacuję na 100%.
- A10. Takosoglu J. E.: *Experimental research of flow servo-valve*, in: Proc. 11nd International Conference on Experimental Fluid Mechanics 2016 (ed. Dancova P.), Volume: 143 (2017), Article number: UNSP 02127, Pages 819-823. (materiały konferencyjne indeksowane na WoS, liczba punktów w roku wydania: 15) – mój udział procentowy szacuję na 100%.
- A11. Dindorf R., Takosoglu J., Woś P.: *Bezpieczeństwo układów hydraulicznych i pneumatycznych*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2018. (monografia, liczba punktów w roku wydania: 25) – mój udział procentowy wynikający z liczby stron monografii szacuję na 20%, jestem autorem rozdziału 4.
- A12. Takosoglu J.: *Poradnik konstruktora maszyn i urządzeń*. (Zespół autorów pod redakcją A. Kubalskiego). *Napędy i sterowanie pneumatyczne*. Rozdział 8.1.1.5. Oznaczanie schematów układów pneumatycznych (2008), s. 1-8, Rozdział 8.1.4.1. Wprowadzenie. Parametry sprężarek (2009), s. 1-26, Rozdział 8.1.7.6. Przegląd konstrukcji siłowników tłokowych (2011), s. 1-30. Verlag Dashofer, Warszawa. Mój udział procentowy w ww. rozdziałach 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

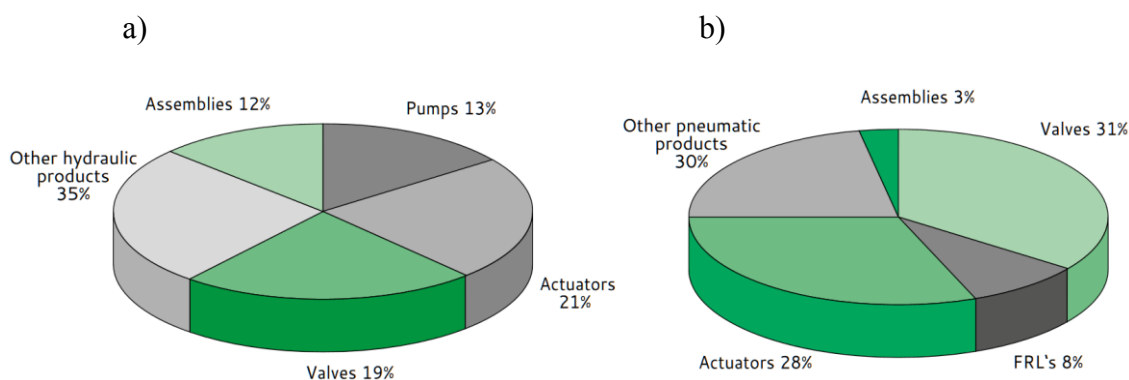
W przemysłowych systemach napędowych maszyn i urządzeń układy pneumatyczne wciąż cieszą się dużą popularnością i często są jednym z kluczowych elementów w automatyzacji procesów produkcyjnych. Układy pneumatyczne to obecnie najbardziej ekologiczne i ekonomiczne rozwiązanie dla przemysłu. Pomimo olbrzymiego rozwoju napędów elektrycznych, napędy pneumatyczne nie zostały całkowicie wyeliminowane z zastosowań przemysłowych, chociaż od kilku lat obserwuje się stosowanie pneumatyki w mniej wymagających procesach. Układy pneumatyczne są powszechnie stosowane ponieważ sprężone powietrze umożliwia generowanie znacznych sił, a mnogość zaworów i elementów pneumatycznych

umożliwia projektowanie skomplikowanych i złożonych układów sterujących. Jak wynika z najnowszego raportu Europejskiego Komitetu ds. Hydrauliki i Pneumatyki (CETOP) rynek europejski napędów płynowych stanowi 12,6 mld EURO z czego w Polsce ulokowano 1%. Na rys. 1 przedstawiono procentowy udział branży napędów płynowych w rynkach poszczególnych krajów.



Rys. 1. Procentowy udział rynków napędów płynowych poszczególnych krajów europejskich

Z przedstawionego raportu wynika, że napędy hydrauliczne to prawie 70% (8,8 mld EURO), a napędy pneumatyczne to ponad 30% (3,8 mld EURO) rynku. Na rys. 2 przedstawiono udział poszczególnych elementów systemów hydraulicznych i pneumatycznych.



Rys. 2. Procentowy udział poszczególnych elementów napędów płynowych:
a) hydraulicznych, b) pneumatycznych

Podjęcie tematu badań naukowych wynikało bezpośrednio z wciąż rozwijającego się rynku pneumatyki i koniecznością prowadzenia badań w tym zakresie, a także problemach i możliwościach wynikających z koncepcji IoT (ang. *Internet of things – IoT*) i Przemysłu 4.0 (ang. *Industry 4.0*). Tematyka dotycząca układów sterowania

napędami pneumatycznymi jest prowadzona w wielu ośrodkach na świecie. Najnowsze publikacje dotyczą wykorzystania nowoczesnych i inteligentnych algorytmów sterowania w napędach pneumatycznych, projektowania nowych rodzajów napędów pneumatycznych i ulepszania istniejących, projektowania robotów i manipulatorów rehabilitacyjnych, badań podstawowych procesów zachodzących podczas przetwarzania energii sprężonego powietrza na energię mechaniczną w elementach i napędach systemów pneumatycznych, a także tworzenia inteligentnych sieci pneumatycznych, ich zarządzaniem i kontrolą. W układach sterowania napędów pneumatycznych do sterowania pozycyjnego napędów pneumatycznych wykorzystuje się między innymi następujące rodzaje układów:

- napędy wielopolożeniowe:
 - dwupolożeniowy krańcowy z siłownikiem jednostronnego działania,
 - dwupolożeniowy krańcowy z siłownikiem dwustronnego działania,
 - wielosiłownikowy z siłownikiem trypolożeniowym,
 - wielosiłownikowy z siłownikiem czteropolożeniowym,
 - wielosiłownikowy z siłownikiem binarnym,
- napędy o działaniu proporcjonalnym:
 - z ustawnikiem pozycyjnym,
 - o działaniu przełączalnym i zintegrowanym ustawnikiem,
- napędy z dodatkowymi urządzeniami pozycjonującymi:
 - z hamulcem sterowanym elektromagnetycznie,
 - z hamulcem sterowanym pneumatycznie,
 - z hamulcem sterowanym hydraulicznie,
- napędy ze sterowaniem dławieniowym:
 - z zaworem proporcjonalnym 5/3,
 - z dwoma zaworami proporcjonalnymi 3/3,
 - z zaworem proporcjonalnym 4/3,
 - z czterema zaworami rozdzielającymi 2/2,
 - z dwoma zaworami rozdzielającymi 3/2.

W zakresie przeglądu istniejących rozwiązań napędów i sterowań pneumatycznych oraz ogólnych zagadnień techniki pneumatycznej opublikowałem kilka rozdziałów w pracy: *Poradnik konstruktora maszyn i urządzeń. Napędy i sterowanie pneumatyczne*. (Zespół autorów pod redakcją A. Kubalskiego) [A12]. W rozdziale 8.1.1.5 „Oznaczenie schematów układów pneumatycznych” przedstawiłem ogólne zasady rysowania schematów instalacji pneumatycznych oraz definicje podstawowych elementów instalacji pneumatycznych. W rozdziale 8.1.4.1 dotyczącym wytwarzania sprężonego powietrza opisałem parametry sprężarek, przedstawiłem podział sprężarek ze względu na rodzaj pracy oraz podałem podstawy teoretyczne dotyczące sprężarek z uwzględnieniem charakterystyk indykatorych. Następnie dla każdego typu sprężarki przedstawiłem schematy ideowe i opisy zasady działania. Kolejny rozdział

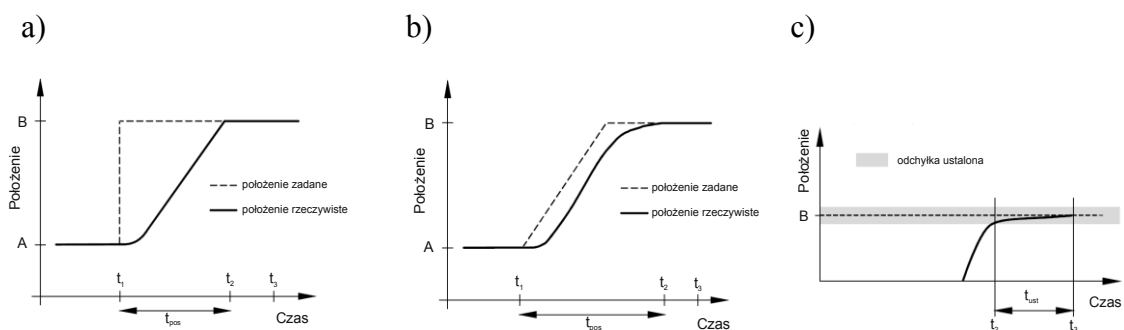
8.1.7.6 poradnika obejmował przegląd konstrukcji siłowników tłokowych. W rozdziale przedstawiłem konstrukcje większości dostępnych na rynku rodzajów siłowników tłokowych, wykonałem schematy ideowe obrazujące sposób pracy układów sterowania siłowników tłokowych oraz obszernie opisy zasady ich działania.

Problemy związane z optymalnym sterowaniem napędów pneumatycznych przyczyniły się do poszukiwania nowych technik sterowania opartych na metodach sztucznej inteligencji – logiki rozmytej. Zastosowanie regulatorów rozmytych FLC (ang. *Fuzzy Logic Controller*) umożliwia przejście od opisu ilościowego do opisu jakościowego procesu. W tradycyjnych układach sterowania algorytmy regulacji opracowywane są w sposób intuicyjny przez operatorów na podstawie ich własnego doświadczenia. Stosując metody logiki rozmytej można wiedzę zdobytą w czasie eksploatacji i obsługi procesu, czy też wiedzę operatorów, stanowiącą intuicyjne algorytmy sterowania obiektami regulacji, zapisać logiką słowną przetworzoną na działania matematyczne i wykorzystać w procesie sterowania. Systemy z logiką rozmytą dzięki wiedzy eksperckiej można także stosować w procesach, w których występują nieliniowości, niepewności co do ich parametrów lub inne niekorzystne cechy obiektu sterowania. Układy z logiką rozmytą są metodami sterowania inteligentnego, w których wiedza zakodowana w bazie reguł wynika z doświadczenia i intuicji oraz teoretycznego i praktycznego zrozumienia dynamiki procesu. Wykorzystanie logiki rozmytej w regulatorach wynika stąd, że do poprawnego nastrojenia regulatora nie wymagana jest znajomość dynamiki procesu. Sterowanie rozmyte stało się popularne także dlatego, że rzeczywiste obiekty sterowania są nieliniowe i w związku z tym wymagają zastosowania specjalnych technik regulacyjnych, których projektowanie jest zwykle bardzo trudne, pracochłonne, a niekiedy niemożliwe. Dla takich obiektów projektowanie sterowników rozmytych może być dużo łatwiejsze, a one same mogą zastępować regulatory klasyczne czy regulatory stanu. Przedstawione zagadnienia skłoniły mnie do podjęcia pracy na temat „Problemy sterowania, dynamiki i eksploatacji układów pneumatycznych”.

Przedmiot badań

W układach z napędami pneumatycznymi szczególnie ważne jest sterowanie pozycyjne. W wielu ośrodkach na świecie poszukuje się optymalnej i skutecznej metody szczególnie w zastosowaniu do siłowników pneumatycznych tłoczyskowych i beztłoczyskowych. Sterowanie pozycyjne napędami pneumatycznymi jest procesem trudnym ze względu na ścisłość czynnika roboczego, tarcie występujące w układzie napędowym, występowanie zjawiska *stick-slip*, występowaniem przestrzeni martwych w siłowniku, przyklejanie się tłoka siłownika do cylindra w końcowych pozycjach. Problemem jest nastawianie i utrzymanie stałej prędkości ruchu szczególnie w zakresie małych prędkości oraz precyzyjne zatrzymanie tłoka siłownika w położeniach pośrednich między położeniami krańcowymi siłownika. W zastosowaniach

przemysłowych najczęściej realizowane jest zadanie przestawiania. Pozycjonowanie w ten sposób polega na ruchu tłoka siłownika z położenia początkowego A do położenia końcowego B w możliwie krótkim czasie (rys. 3a).



Rys. 3. Regулacja: a) przestawna, b) nadążna, c) w stanie ustalonym

W przypadku konieczności realizacji bardziej skomplikowanych ruchów dla napędów pneumatycznych realizuje się zadanie nadążania. Celem zadania nadążania (rys. 3b) jest ruch tłoka siłownika z punktu A do punktu B po trajektorii o odpowiednim kształcie z jednoczesnym zachowaniem zadanych zmiennych położenia, prędkości i przyspieszenia oraz pozycjonowania z ustaloną dokładnością (rys. 3c). Przedmiotem badań są manipulatory i urządzenia pneumatyczne z napędami serwopneumatycznymi tłoczyskowymi i beztłoczyskowymi, mięśniowymi oraz elementy i układy sterujące serwonapędów.

Badania układów pneumatycznych

W swojej pracy doktorskiej zajmowałem się głównie zagadnieniami modelowania serwonapędu elektropneumatycznego oraz sterowania rozmytego serwonapędu elektropneumatycznego w różnych warunkach pracy napędu. Analizowałem możliwość pracy w szerokim zakresie obciążeń masowych, w dużym zakresie prędkości, dla różnych skoków siłownika, pracy z różnymi ciśnieniami zasilającymi serwonapęd – również w zakresie niskich ciśnień, pracy z trajektoriami sinusoidalnymi z różnymi częstotliwościami. Nadal nie opublikowano pracy badawczej, w której kompleksowo poruszano problem zastosowania regulatora rozmytego dla serwonapędu elektropneumatycznego. W artykule [A1] przedstawiłem problem modelowania serwonapędu elektropneumatycznego składającego się z siłownika beztłoczyskowego sterowanego zaworem proporcjonalnym przepływu. Przedstawiłem modele fizyczne serwonapędu na podstawie, których wyprowadziłem nieliniowy model dynamiczny oraz opisałem procesy fizyczne zachodzące w trakcie ruchu tłoka siłownika beztłoczyskowego.

Efekty pracy:

- równanie ruchu tłoka siłownika beztłoczyskowego,
- równanie ruchu suwaka zaworu proporcjonalnego przepływu,
- równania ciśnień w komorach siłownika,
- równania masowego natężenia przepływu przez okna przepływowe zaworu.

Bardzo ważnym aspektem modelowania dynamiki ruchu tłoka siłownika jest uwzględnienie siły tarcia. Proces tarcia w trakcie ruchu tłoka siłownika pneumatycznego jest procesem złożonym, zależnym od wielu parametrów. W napędach pneumatycznych wykorzystuje się najczęściej model siły tarcia jako wypadkową trzech sił (tzw. krzywe Stribeck): siły tarcia statycznego, siły tarcia kinetycznego i siły tarcia lepkiego (wiskotycznego) oraz dodatkową składową w funkcji różnicy ciśnień.

W przypadku małych prędkości tłoka, w siłownikach pneumatycznych występuje problem znany pod nazwą zjawiska *stick-slip* („zatrzymanie-poślizg”). Producenci pneumatyki próbują niwelować występowanie tego efektu poprzez stosowanie lepszych środków smarnych, projektowanie uszczelnień o nowych kształtach, stosowanie na uszczelnienia lepszych nowoczesnych materiałów, jednak do tej pory nie wyeliminowano całkowicie tego zjawiska. Uzyskano możliwość realizacji ruchu z mniejszymi prędkościami ale nadal producenci siłowników pneumatycznych w danych katalogowych zalecają ruch tłoka siłownika z prędkością większą niż 20cm/s. Do opisu tego zjawiska w wielu pracach można spotkać opis siły tarcia oparty na modelu LuGre (Lund-Grenoble). Podstawowym założeniem tego modelu jest porównanie procesu tarcia do odrywania się (szarpaniem) dwóch powierzchni w postaci szczotek. Jedna ze szczotek jest nieruchoma i ma szczecinę sztywną, natomiast druga jest ruchoma i ma szczecinę giętą.

W siłownikach pneumatycznych występuje również problem przylegania tłoka siłownika do denka cylindra w końcowych pozycjach oraz przylegania uszczelnienia do cylindra siłownika. Siła przylegania zależy od stanu uszczelnienia siłownika. Na wartość siły przylegania w uszczelnieniach siłownika pneumatycznego wpływa wiele czynników, np. siła promieniowa, geometria i odkształcenia uszczelnienia, powierzchnia styku, środek smarny, czas postoju siłownika, prędkość przyrostu ciśnienia (impuls ciśnienia) w komorach siłownika. W modelowaniu dynamiki i symulacji siłowników pneumatycznych korzysta się z różnych modeli tarcia, w których występuje siła przylegania. Doświadczalne wyznaczenie tej siły ma duże znaczenie w identyfikacji parametrycznej serwonapędów pneumatycznych. Autor wraz z zespołem zajmował się również tym problemem. W tym celu zbudowano stanowisko badawcze, które umożliwiło otrzymanie charakterystyk czasowych sił oraz charakterystyk sił w funkcji różnicy ciśnień. W badaniach rozpatruje się tłok siłownika pneumatycznego w stanie spoczynku ($v = 0$), podczas którego występuje faza tarcia statycznego F_{ts} . Wartość siły

tarcia statycznego F_{ts} jest równa sumie sił statycznych działających na tłok siłownika do chwili przekroczenia wartości siły maksymalnej F_{tsmax} . Wartość siły tarcia statycznego F_{ts} może więc zmieniać się w zakresie $0 \leq F_{ts} \leq F_{tsmax}$. Po przekroczeniu wartości F_{tsmax} zaczyna się faza tarcia ruchowego – siła tarcia kinetycznego (*da Vinci–Amontona–Coulomba*) F_k , i tarcia lepkiego F_v , której towarzyszy przemieszczanie tłoka siłownika. Maksymalną siłę tarcia statycznego F_{smax} nazywa się również jako rozwiniętą siłę tarcia statycznego. W literaturze trybologicznej maksymalna siła tarcia statycznego F_{smax} odpowiada sile oderwania (ang. *breakaway force*), którą oznaczono jako siłą F_p . W badaniach siły oderwania w uszczelnieniach siłownika pneumatycznego wyróżnione zostały trzy stany:

$$\begin{cases} I & v = 0 & F_{st} \leq F_p \\ II & v = 0 & F_{ts} = F_{tsmax} = F_p \\ III & v = 0 & F_{st} > F_p \end{cases} \quad (1)$$

gdzie: F_{ts} – siła tarcia statycznego,

$$F_{ts} = F_{st} - F_z, \quad (2)$$

F_{st} – siła statyczna działająca na tłok siłownika,

$$F_{st} = A \cdot \Delta p, \quad (3)$$

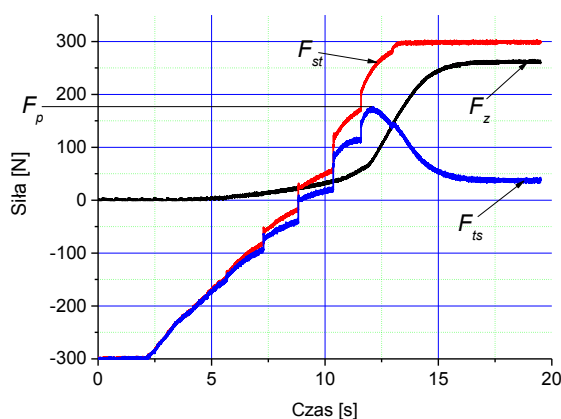
A – powierzchnie tłoka siłownika,

Δp – różnica ciśnień w komorach siłownika, $\Delta p = p_1 - p_2$,

p_1, p_2 – ciśnienia w komorach siłownika,

F_z – rzeczywista siła według wskazań czujnika siły.

Na rys. 4 przedstawiono charakterystykę, na której oznaczono wartość siły przylegania F_p . Na wykresie można zauważyć również występujące zjawisko wcześniejszego skokowego odrywania się uszczelnienia w trakcie jego pracy (efekt modelu LuGre).



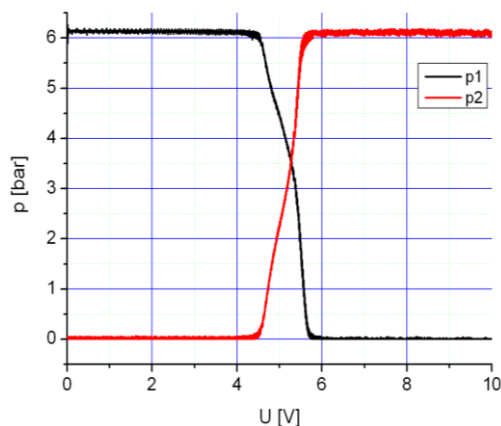
Rys. 4. Wykres sił w funkcji czasu

Znajomość parametrów technicznych i eksploatacyjnych elementów sterujących systemów pneumatycznych jest niezwykle istotna w trakcie projektowania układów regulacji. Producenci najczęściej podają tylko podstawowe parametry swoich produktów, a także przedstawiają wybrane teoretyczne charakterystyki. Takie idealne charakterystyki mogą wprowadzać błędy w układzie sterowania. W procesie sterowania pozycyjnego napędów pneumatycznych wykorzystuje się zawory proporcjonalne ciśnienia i przepływu. Pneumatyczne zawory proporcjonalne (serwozawory) są elementami charakteryzującymi się dużym wzmocnieniem sygnału wejściowego. Służą one do wzmacniania i przekształcania w sposób ciągły słabego sygnału wejściowego w silny sygnał wyjściowy w postaci natężenia przepływu (zawory przepływowe) lub w postaci ciśnienia (zawory ciśnieniowe). Największe wzmocnienia można uzyskać stosując jako sygnały wejściowe sygnały elektryczne, dlatego najczęściej stosowane są zawory proporcjonalne ze sterowaniem elektrycznym. Zawór taki składa się z dwóch podstawowych zespołów:

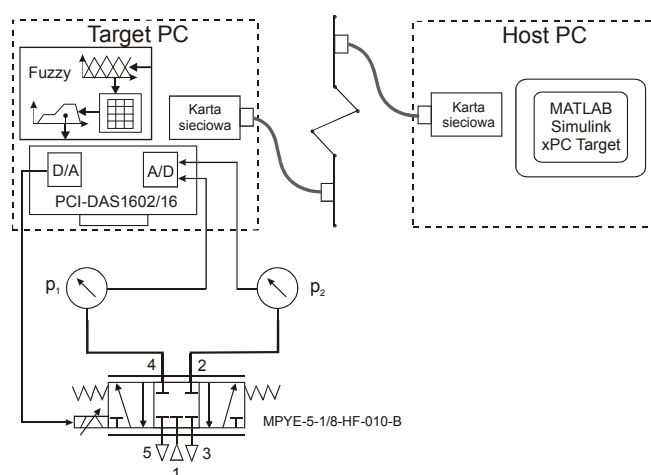
- przetwornika elektromechanicznego, który przetwarza elektryczny sygnał napięciowy lub prądowy w przemieszczenie liniowe (kątowe) albo siłę (moment),
- jedno-, dwu-, lub trzystopniowego wzmacniacza,
- rozdzielacza suwakowego.

Zawory proporcjonalne są stosowane przede wszystkim w układach regulacji szybkozmiennych procesów produkcyjnych. Budowa serwozaworów elektropneumatycznych nie różni się zasadniczo od serwozaworów elektrohydraulicznych. Najczęściej są to serwozawory suwakowe z czterema lub dwoma krawędziami sterującymi. Zespoły suwak-tuleja serwozaworów pneumatycznych nie zawierają uszczelnień elastycznych w celu zmniejszenia oporów tarcia i wynikającej stąd histerezy. Brak uszczelnienia jest źródłem znacznych przecieków sprężonego powietrza, którym zapobiega się przez stosowanie dodatniego przekrycia kanałów przepływowych w zespole suwak-tuleja, które jednak wprowadza strefę nieczułości serwozaworu w otoczeniu położenia środkowego suwaka.

W pracy [A10] przedstawiłem badania eksperymentalne zaworu proporcjonalnego przepływu MPYE-5-1/8-HF-010-B firmy Festo. Jest to najczęściej wykorzystywany zawór do procesu pozycjonowania napędów pneumatycznych opisany w publikacjach indeksowanych. W celu wyznaczenia charakterystyki ciśnieniowej $p=f(U)$ zaworu (rys. 5) zbudowałem stanowisko eksperymentalne, którego schemat przedstawiono na rys. 6.

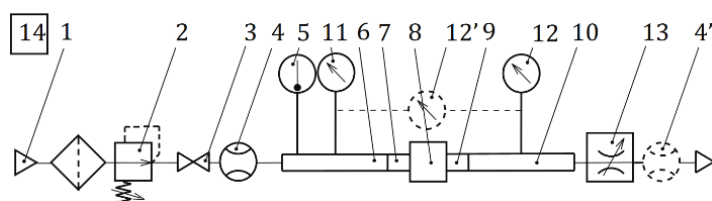


Rys. 5. Charakterystyka ciśnieniowa $p=f(U)$ zaworu

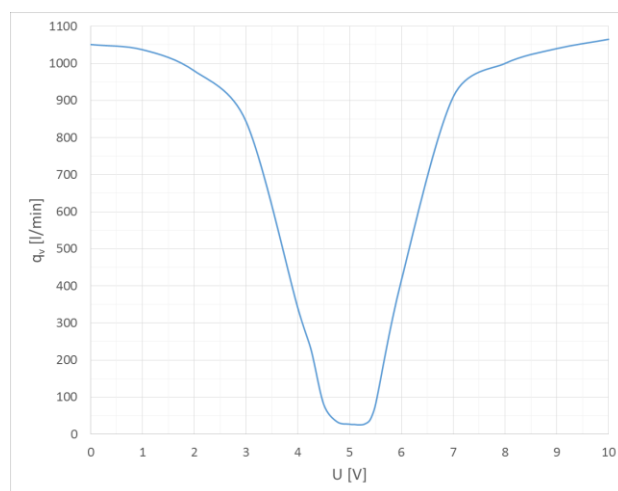


Rys. 6. Schemat stanowiska do wyznaczania charakterystyki ciśnieniowej

Kolejną wyznaczoną charakterystyką była charakterystyka przepływowa $q_v=f(U)$ zaworu (rys. 8). Badania przeprowadziłem na specjalnym stanowisku zbudowanym według normy ISO 6358 (rys. 7). Stanowisko umożliwia wyznaczanie charakterystyk przepływowych oraz wyznaczanie parametrów przepływowych elementów typu przepływowego i wypływowego. Badania prowadziłem zgodnie z procedurą ujętą w normie ISO 6358.

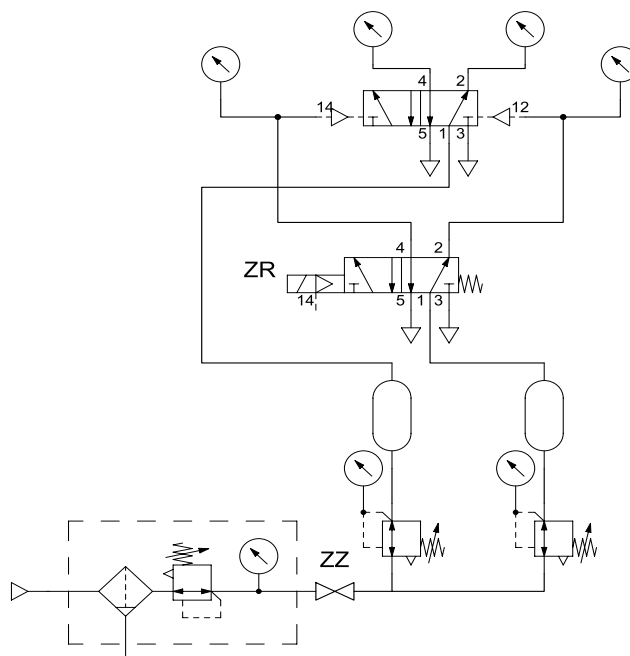


Rys. 7. Schemat stanowiska do wyznaczania charakterystyki przepływowej



Rys. 8. Charakterystyka przepływowa $q_v=f(U)$ zaworu

Trzecim wyznaczonym parametrem był czas odpowiedzi zaworu i czas jałowy. Badania przeprowadziłem na stanowisku PT-2 (rys. 9), które jest przeznaczone do badania zaworów rozdzielających 3/2, 5/2 oraz 5/3, sterowanych: obustronnie pneumatycznie, jednostronnie pneumatycznie z powrotem wymuszonym sprężyną, obustronnie elektromagnetycznie, jednostronnie magnetycznie z powrotem wymuszonym sprężyną.



Rys. 9. Schemat stanowiska do wyznaczania czasów jałowych i czasów odpowiedzi

Stanowisko to nie było przystosowane do badania zaworów proporcjonalnych i serwozaworów, dlatego odpowiednio je zmodyfikowałem. W miejsce pilotów cewek zaworów wykonałem nastawnik napięciowy zaworu proporcjonalnego. Badania przeprowadzone na stanowisku PT-2 polegały na określaniu czasu odpowiedzi i czasu

jałowego podczas przesterowania zaworu. Wyznaczanie czasu odpowiedzi zaworów sterowanych elektrycznie polega na pomiarze przedziału czasu pomiędzy otwarciem lub zamknięciem obwodu elektrycznego zasilającego elektromagnes sterujący zaworem, a uzyskaniem na wyjściu określonej wartości ciśnienia. Wyznaczanie czasu jałowego zaworów sterowanych elektrycznie polega na pomiarze przedziału czasu pomiędzy otwarciem lub zamknięciem obwodu elektrycznego zasilającego elektromagnes sterujący zaworem, przy zerowych wartościach wyjściowych ciśnienia (droga przepływu jest wtedy zamknięta). Na stanowisku PT-2 mierzyłem zmianę ciśnienia wyjściowego (za zaworem) w funkcji czasu oraz natężenie prądu w cewce elektromagnesu sterującego zaworem. Do pomiaru szybkich zmian ciśnienia w czasie wykorzystałem przetwornik ciśnienia Minitron MPXG20 o zakresie pomiarowym od 0 do 1 MPa z dokładnością $\pm 1\%$. Przeprowadziłem serię 20 pomiarów przy przełączaniu zaworu proporcjonalnego ze skrajnych położań, odpowiadających napięciu 0 V i 10 V oraz w kierunku przeciwnym 10 V i 0 V. Wyniki zestawilem w Tabeli 1.

Tabela 1. Czasy odpowiedzi i czasy jałowe zaworu

Położenie suwaka	Czas odpowiedzi	Czas jałowy
10V→0V	14,4 ms	2,0 ms
0V→10V	15,1 ms	1,3 ms

Badania eksperymentalne ujawniły pewne problemy techniczne występujące w zaworze proporcjonalnym. Po pierwsze zawór ma niewielki przeciek czego można było się spodziewać przy braku uszczelnień suwaka. Zawór nie jest symetryczny tzn. w położeniu środkowym odpowiadającym napięciu 5V droga zaworu 4 jest częściowo otwarta. Charakterystyka ciśnieniowa i charakterystyka przepływowa nie są liniowe jak podaje producent. Czasy zadziałania i czasy jałowe zaworu dla obydwu dróg wyjściowych zaworu są różne podczas procesu przesterowania. Uśredniona częstotliwość graniczna zaworu wynosi 68Hz, a nie 100Hz jak podaje producent.

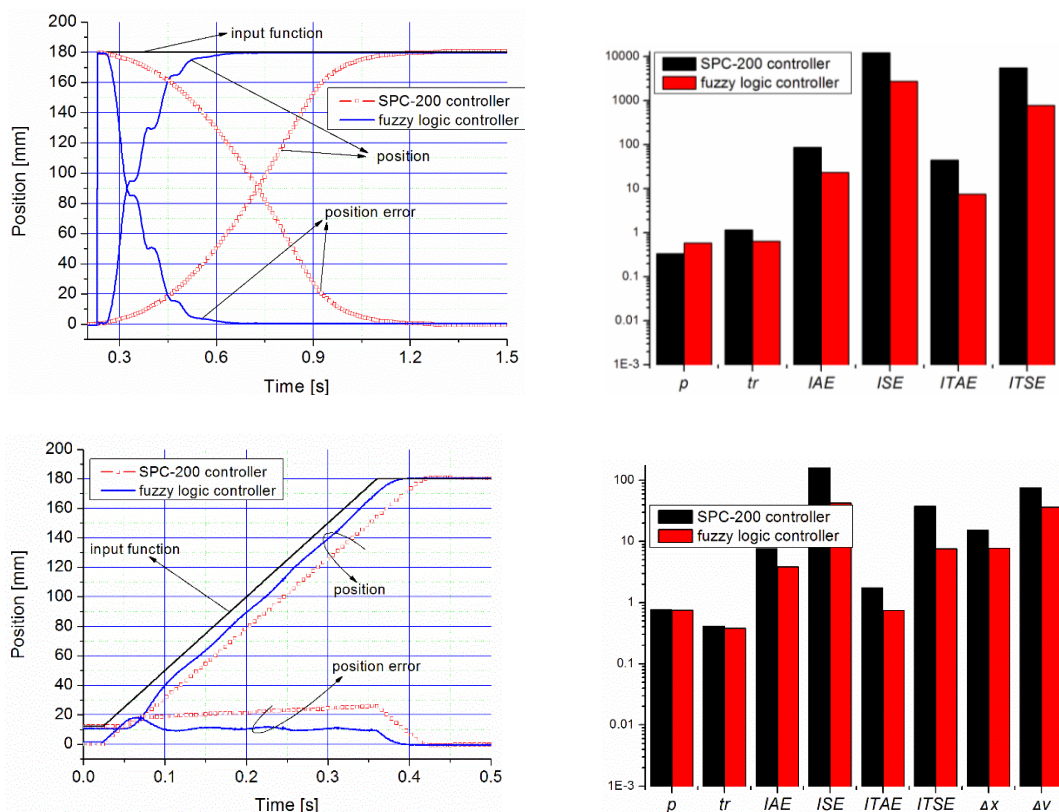
Opracowany w pracy doktorskiej model rozwinąłem o procesy tarcia związane z siłą oderwania w uszczelnieniach siłownika pneumatycznego. Na podstawie opracowanego modelu i badań eksperymentalnych zaworu proporcjonalnego przepływu przeprowadziłem szereg badań symulacyjnych, które były podstawą do zaprojektowania regulatora rozmytego dla serwonapędu elektropneumatycznego. Na modelu symulacyjnym dokonałem syntezy regulatora oraz wstępnego strojenia parametrów regulatora. Ze względu na złożoność aparatu logiki rozmytej projektowanie regulatorów rozmytych FLC jest procesem skomplikowanym i czasochłonnym. Problem stanowi zarówno wyznaczenie parametrów FLC czyli etykiet lingwistycznych i zbiorów rozmytych jak i struktury FLC – bazy reguł wraz z mechanizmem wnioskowania rozmytego. W celu przeprowadzenia operacji rozmywania należało

precyzyjnie zdefiniować funkcje przynależności pod względem ilościowym czyli parametry i współczynniki funkcji, jak i jakościowym czyli rodzaje funkcji. Znajomość charakterystyk zaworu i czasów zadziałania wykorzystałem w trakcie procesu projektowania regulatorów rozmytych dla serwonapędu elektropneumatycznego, gdyż logika rozmyta daje możliwości eliminowania nieliniowych zjawisk zachodzących w procesie regulacji. Jako środowisko testowe wykorzystałem metodę szybkiego prototypowania sterowania RCP (ang. *rapid control prototyping*) do procesu pozycjonowania osi serwopneumatycznej z regulatorem rozmytym. Jako platformę programistyczną wykorzystałem Matlab z xPC Target, a platformę sprzętową rozwijałem stosując systemy dedykowane dSpace i SpeedGoat.

Na potrzeby przeprowadzenia badań eksperymentalnych zaprojektowałem i wykonałem stanowisko doświadczalne. Na stanowisku przeprowadziłem bardzo szeroki zakres badań dotyczący zmian różnych parametrów ruchu siłownika, algorytmów sterowania i metod pozycjonowania. W artykule [A1] przedstawiłem tylko kilka wybranych wyników badań. Przeprowadziłem analizę jakości sterowania z zastosowaniem podstawowych, całkowych i trzech specjalnie zdefiniowanych wskaźników jakości dla regulacji nadążnej, na podstawie której można stwierdzić, że serwonapęd spełnia założone parametry ruchu dla wymagań pracy przemysłowej. W artykule zaproponowałem również wykorzystanie serwonapędu jako układu typu *haptic*. W czasie rzeczywistym zadawałem sygnał sterujący z zadajnika ręcznego, który stanowił potencjometryczny przetwornik położenia, natomiast zadaniem serwonapędu było odtwarzanie tego ruchu również w czasie rzeczywistym. System tego typu prezentowałem na IV Targach Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2011 w Kielcach w 2011 roku. System zdobył uznanie komisji konkursowej i zdobył medal targów za "*System pozycjonowania serwopneumatycznego ze sterowaniem rozmytym*". Do chwili opublikowania artykułu [A1] w dostępnej literaturze nie była poruszana tematyka sterowania rozmytego serwonapędem elektropneumatycznym oraz układu *haptic* dla osi serwopneumatycznej, co ma odzwierciedlenie w cytowaniach w liczbie 42, z czego 20 to cytowania zagraniczne. W toku dalszej działalności naukowej rozwijałem zagadnienia związane ze sterowaniem rozmytym serwonapędów elektropneumatycznych, napędami pneumatycznymi, elementami sterującymi i ich konstrukcjami oraz układami sterowania napędów.

Kolejne prace przedstawione w [A2] dotyczyły analizy istniejących na rynku rozwiązań przemysłowych układów sterowania dla serwonapędów pneumatycznych. Jednym z najbardziej popularnych jest produkt firmy FESTO. System pracuje w oparciu o sterownik SPC200 (ang. *smart positioning controller*), który można maksymalnie rozbudować o trzy osie serwopneumatyczne lub jedną z osi zastąpić osią serwoelektryczną. Sterownik umożliwia konfigurację szeregową manipulatora

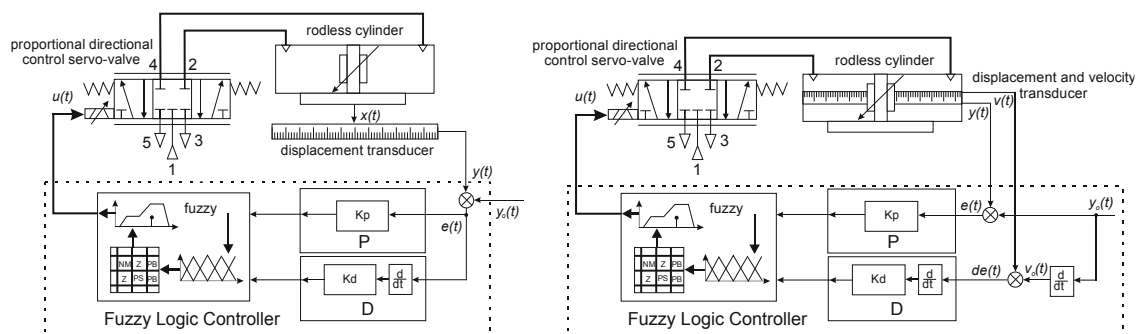
w oparciu o osie serwopneumatyczne w układzie współrzędnych kartezjańskich. Manipulator może znaleźć zastosowanie w procesach paletyzacji, sortowania itp. Sterownik SPC200 ma ograniczone możliwości i umożliwia jedynie zadanie przestawiania oraz zadanie nadążania z określoną prędkością – sygnał wymuszający liniowo narastający. Nie ma możliwości realizacji ruchu o dowolnej trajektorii. Producent nie przedstawił algorytmu sterowania natomiast w dostępnych materiałach podano informacje, że jest to regulator zmiennych stanu. Na tej podstawie opracowano schemat algorytmu oraz sposób działania regulatora zmiennych stanu. W artykule przedstawiłem analizę porównawczą pozycjonowania osi serwopneumatycznej sterowanej przez SPC200 z osią serwopneumatyczną sterowaną regulatorem rozmytym (rys. 10), dokonałem analizy funkcjonalnej i jakości sterowania dwóch regulatorów. Na podstawie przeprowadzonej analizy jakości sterowania stwierdzono lepsze działanie zaprojektowanego regulatora rozmytego oraz większe możliwości pozycjonowania: realizacja dowolnej trajektorii ruchu, możliwość sterowania w czasie rzeczywistym i możliwość sterowania z układem typu *haptic*.



Rys. 10. Proces pozycjonowania: a) regulacja przestawna, b) regulacja nadążna

W monografii [A7] podjąłem tematykę usystematyzowania wiedzy obejmującej podstawowe układy sterowania pneumatycznego. Prace dotyczyły ogólnych zasad rysowania schematów pneumatycznych, oznaczania elementów instalacji pneumatycznej, oznaczania dróg wejściowych i wyjściowych zaworów według nowej

nomenklatury cyfrowej i starej nomenklatury literowej. Wprowadzono podział układów sterowania na: sterowanie bezpośrednie, sterowanie pośrednie, półautomatyczne i automatyczne, sterowanie z zastosowaniem zaworów logicznych i specjalnych. Dla każdego rodzaju sterowania zaproponowałem kilka rozwiązań praktycznych wraz z cyklogramami pracy. Podałem możliwości aplikacji rozwiązań oraz szczegółowe opisy działania układów. W rozdziale 2 przedstawiłem projekt i system sterowania pneumatycznego dla sterowania pozycyjnego serwonapędu elektropneumatycznego. Przedstawiłem model matematyczny serwonapędu na podstawie, którego przeprowadziłem badania symulacyjne pojedynczej osi serwopneumatycznej. Do badań eksperymentalnych zaprojektowałem 2 rodzaje regulatorów rozmytych FLC (rys. 11).

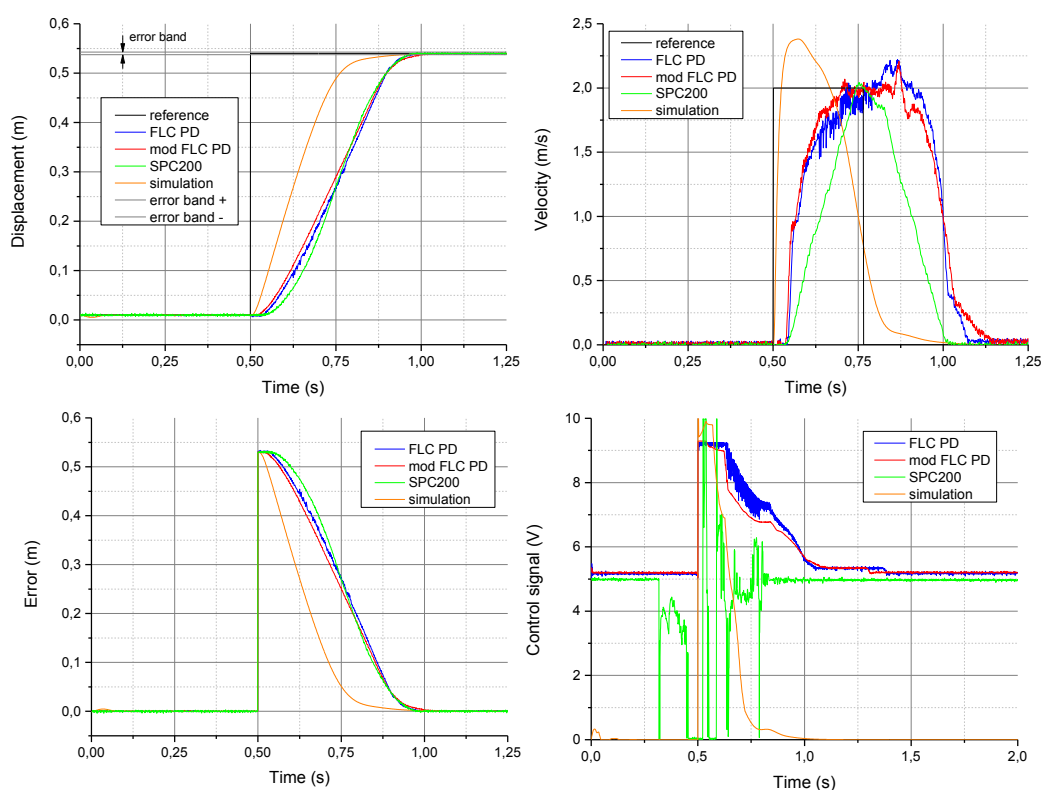


Rys. 11. Schemat układu sterowania: a) regulator rozmyty PD, b) modyfikowany regulator rozmyty PD

Pierwszy to regulator rozmyty PD z bazą 49 reguł rozmytych Mac Vicar'a Whelan'a. W procesie wnioskowania rozmytego (inferencji), poziom zapłonu i implikację rozmytą wyznaczyłem stosując operator MIN, a poszczególne wyjścia wszystkich reguł agregowałem operatorem MAX. W procesie defuzyfikacji zastosowałem metodę środka ciężkości COG. W układzie sterowania zaprojektowanego regulatora PD FLC w torze regulacji D występuje odtwarzanie niemierzalnej zmiennej stanu de/dt z mierzalnej zmiennej $e(t)$. W praktyce odtwarzanie zmiennych stanu najczęściej jest realizowane przez różniczkowanie. Jednak metoda ta obciążona jest następującymi wadami:

- podniesienie szumu pomiarowego przez wzmocnienie wysokoczęstotliwościowych sygnałów zakłóceń,
- opóźnienie fazowe odtwarzanych sygnałów,
- kwantyzacja sygnałów czyli zredukowanie wartości liczbowych reprezentujących sygnał odtwarzany w stosunku do rozdzielczości zastosowanego przetwornika położenia, które potęguje się w przypadku wielokrotnego różniczkowania,
- pogorszenie stabilności co prowadzi do ograniczenia wartości wzmocnień w układzie sterowania i przez to zmniejszenie wpływu na zachowania dynamiczne napędu.

W celu ograniczenia problemów związanych z odtwarzaniem zmiennych stanu zaprojektowałem układ sterowania z modyfikowanym regulatorem rozmytym PD. Oprócz przetwornika przemieszczenia zastosowałem również bezpośredni pomiar prędkości, którego sygnał wyjściowy wykorzystałem w torze D. Do tego celu zaprojektowałem specjalny siłownik bezłoczyskowy, w którym wewnątrz zintegrowano przetwornik położenia i prędkości. Siłownik został wykonany w Centrum Produkcyjnym Pneumatyki "PREMA" S.A. w Kielcach. Analizując literaturę nie spotkałem się z takim rozwiązaniem technicznym dla serwonapędu elektropneumatycznego. Badania symulacyjne i eksperymentalne dotyczyły sterowania pozycyjnego serwonapędu elektropneumatycznego oraz przeprowadzeniu analizy porównawczej zastosowanych regulatorów na stanowiskach doświadczalnych: PD FLC, zmodyfikowanego PD FLC i sterownika SPC200 z regulatorem zmiennych stanu (rys. 12).



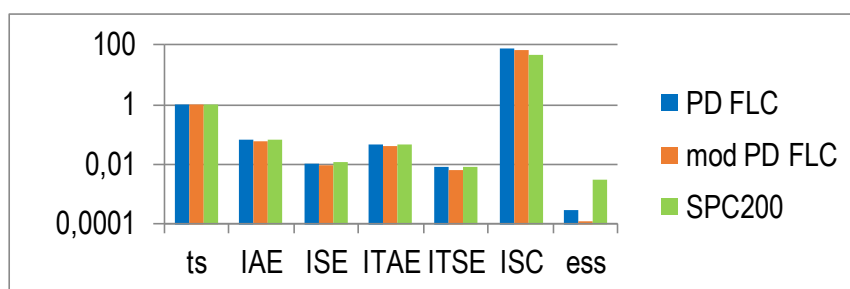
Rys. 12. Proces pozycjonowania dla regulacji przestawnej: a) przemieszczenie, b) prędkość, c) uchyb, d) sygnał sterujący

Sygnały referencyjne zastosowane w trakcie badań symulacyjnych i eksperymentalnych były jednakowe, a badania przeprowadzono w takich samych warunkach pracy. Użyto sygnałów typu skokowego i liniowo narastającego. Przeprowadziłem analizę jakości sterowania zaprojektowanych regulatorów za pomocą podstawowych i całkowych wskaźników jakości regulacji: czas regulacji, uchyb w stanie ustalonym, całka z bezwzględnej wartości uchybu, całka z kwadratu uchybu, całka z iloczynu czasu i bezwzględnej wartości uchybu, całka z iloczynu czasu

i kwadratu uchybu, całka z kwadratu sygnału sterującego. W przypadku regulacji nadążnej dodatkowo zdefiniowałem dwa specjalne wskaźniki jakości: bezwzględny błąd sygnału położenia i bezwzględny błąd sygnału prędkości. W postaci tabelarycznej przedstawiłem zastosowane wskaźniki jakości oraz podałem opisy i warunki stosowania poszczególnych wskaźników jakości. Na zbiorczym wykresie słupkowym (rys. 13) w skali logarytmicznej oraz w Tabeli 2 przedstawiłem otrzymane wyniki badań. Dla większości wskaźników modyfikowany regulator rozmyty uzyskał lepsze rezultaty jakości regulacji.

Tabela 2. Wskaźniki jakości regulacji

	t_s (s)	IAE	ISE	ITAE	ITSE	ISC	e_{ss} (mm)
PD FLC	1,0185	0,0627	0,01097	0,04524	0,007872	71,41	0,0003
mod PD FLC	0,986	0,05756	0,009129	0,04154	0,006566	68,93	0,00012
SPC200	0,97	0,0654	0,01208	0,04664	0,008511	46,07	0,003



Rys. 13. Wskaźniki jakości regulacji

Manipulatory pneumatyczne o otwartym łańcuchu kinematycznym, popularnie nazywane manipulatorami szeregowymi, są powszechnie stosowane w automatyzacji i robotyzacji przemysłowych systemów produkcyjnych. Wynika to głównie z zalet jakimi charakteryzują się manipulatory szeregowe, a należą do nich:

- nieskomplikowana konstrukcja i niskie koszty wykonania,
- możliwość wykorzystania napędów jako elementów konstrukcyjnych manipulatora,
- łatwość sterowania,
- duża przestrzeń robocza,
- duże spektrum zastosowań.

Znaczna większość pneumatycznych manipulatorów i robotów posiada kartezjański układ współrzędnych, ponieważ najczęściej osie manipulatorów i robotów składają się z kolejno nabudowywanych na siebie członów napędowych. Człony napędowe w postaci siłowników pneumatycznych stanowią jednocześnie główną konstrukcję nośną manipulatorów. Taki układ osi może prowadzić do powstawania niekorzystnych sił zginających i powodować sumowanie się odkształceń sprężystych na końcu łańcucha

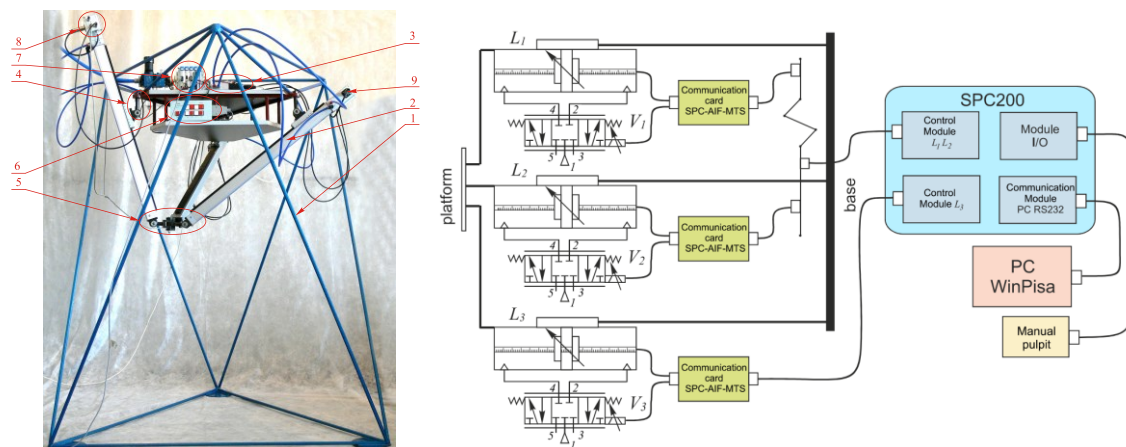
kinematycznego, co prowadzi do pogorszenia sztywności całej konstrukcji. W celu zwiększenia sztywności konstrukcji manipulatorów i robotów oraz zwiększenia obciążalności masowej efektora stosuje się człony napędowe o większych przekrojach, a tym samym większej masie, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu obciążenia bezwładnościowego i pogorszenia dynamiki urządzenia. Problemy te ograniczają ich stosowanie, a do wad manipulatorów i robotów szeregowych należy zaliczyć:

- mała sztywność konstrukcji, która bezpośrednio prowadzi do,
- małej dokładności i powtarzalności pozycjonowania,
- małej obciążalności masowej efektora,
- niewystarczającej dynamiki dla pewnych procesów przemysłowych w dobie nieustannego zwiększania wydajności produkcji.

Alternatywą dla robotów i manipulatorów szeregowych są roboty i manipulatory o zamkniętym łańcuchu kinematycznym, popularnie nazywane równoległymi. W urządzeniach tego typu osie napędowe są równoległe względem siebie i charakteryzują się nieortogonalnym układem współrzędnych. W porównaniu do struktur szeregowych, struktury kinematyczne charakteryzują się następującymi cechami:

- większa dynamika działania,
- mniejsze obciążenie bezwładnościowe, co skutkuje większą sztywnością,
- rozkład obciążenia przypada na większą ilość czynnych i biernych członów napędowych,
- przy zastosowaniu identycznych osi napędowych większe jest obciążenie masowe,
- przegubowe zamocowanie elementów składowych powoduje przenoszenie jedynie obciążeń rozciągających i ściskających, brak jest obciążeń zginających,
- błędy dokładności pozycjonowania nie sumują się na końcu łańcucha kinematycznego,
- przy zastosowaniu identycznych osi napędowych mniejsza jest przestrzeń robocza.

W artykule [A4] podjąłem prace mające na celu zastosowanie opracowanych wcześniej rozwiązań oraz przystosowanie i sterowanie pneumatycznym manipulatorem równoległym typu tripod za pomocą przemysłowego sterownika SPC200, który jest przeznaczony do pracy z manipulatorami szeregowymi. Zaprojektowano i zbudowano manipulator równoległy typu tripod składający się z trzech osi serwopneumatycznych (rys. 14).



Rys. 14. Manipulator typu tripod: 1 – konstrukcja nośna, 2 – beztłoczyskowy siłownik pneumatyczny, 3 – zawór proporcjonalny, 4 – przegub Kardana, 5 – ruchoma platforma robocza, 6 – panel sterowania, 7 – sterownik SPC-200, 8 – interfejs komunikacji sieciowej, 9 – przetwornik położenia

Osie serwopneumatyczne wraz z zaworami proporcjonalnymi przepływu i magnetostrykcyjnymi przetwornikami położenia zostały podłączone do sterownika SPC200. Napisałem odpowiedni program sterujący do realizacji ruchu efektora wzdłuż osi Z dla regulacji przestawnej z punktu P_1 do P_2 w układzie współrzędnych kartezjańskich, co odpowiadało jednakowemu przemieszczeniu każdej osi serwopneumatycznej. Następnie przeprowadziłem pozycjonowanie efektora manipulatora dla ruchu krzywoliniowego. W celu obliczenia powtarzalności pozycjonowania napisałem program realizujący ruch z trzech różnych położень początkowych efektora do jednego punktu końcowego. Wykonałem po 10 powtórzeń dla każdej trajektorii. Przeprowadziłem badania eksperymentalne dla pięciu prędkości efektora wynoszących odpowiednio 10%, 15%, 30%, 60% i 100% prędkości maksymalnej pojedynczej osi serwopneumatycznej i masie obciążającej wynoszącej 0,2 kg. W Tabeli 3 przedstawiono uzyskane wyniki powtarzalności pozycjonowania.

Tabela 3. Powtarzalność pozycjonowania

Wartość prędkości maksymalnej [%]	$V_{10\%}$	$V_{15\%}$	$V_{30\%}$	$V_{60\%}$	$V_{100\%}$
Powtarzalność pozycjonowania [mm]	1,4±0,9	2,1±1,3	3,6±2,0	5,7±3,0	6,3±3,3

Jak wynika z przeprowadzonych badań, możliwe jest użycie sterownika SPC200 do pozycjonowania efektora manipulatora o strukturze kinematycznej zamkniętej, ale manipulator pneumatyczny typu tripod może znaleźć zastosowanie w mniej wymagających procesach automatyzacji np. paletyzacji, segregacji, czy sortowaniu. Wynika to bezpośrednio z możliwości sterownika SPC200 oraz dokładności

pozycjonowania pojedynczej osi serwopneumatycznej. Dodatkowo w trakcie badań pojawił się problem opóźnienia czasowego i synchronizacji jednej z osi serwopneumatycznych względem dwóch pozostałych. W trakcie analizy uzyskanych wyników pozycjonowania osi serwopneumatycznych stwierdziłem, że problem wynika z konfiguracji sprzętowej sterownika. Dwie osie serwopneumatyczne podłączone są do jednego modułu sterownika, natomiast trzecia oś jest podłączona osobno do kolejnego modułu obsługującego tylko jedną oś. Prawdopodobną przyczyną tego problemu jest komunikacja wewnętrzna pomiędzy modułami sterownika. Jak wynika z badań prowadzonych w [A1], [A2] i [A7] zastosowanie regulatora rozmytego może rozwiązać większość problemów sterowania pozycyjnego serwonapędów elektropneumatycznych z zastosowaniem sterownika przemysłowego. Prace naukowo-badawcze dotyczące manipulatora typu tripod były finansowane ze środków MNiSW nr N502 030 32/2350 „*Badania modelowe, symulacyjne i doświadczalne manipulatorów równoległych typu tripod z serwopneumatycznymi członami napędowymi*”, w którym byłem członkiem zespołu B+R.

W kolejnych pracach zająłem się sztucznymi mięskami pneumatycznymi. Sztuczne mięskły pneumatyczne PAM (ang. *pneumatic artificial muscles*) należą do grupy napędów elastycznych. Wśród wszystkich znanych napędów pneumatycznych mięskły jest jednym z najmniej popularnych w zastosowaniach przemysłowych. Sztuczne mięskły pneumatyczne PAM ze względu na sposób działania można traktować jako siłowniki pneumatyczne jednostronnego działania. Pierwszy mięskły (ang. *fluidic muscle*) został wynaleziony w 1930 r przez S. Garasiev'a. Mięskły ten mógł być zasilany pneumatycznie lub hydraulicznie. Zbudowany był z rozciągliwej membrany w oplocie. Kolejny rodzaj mięskły w postaci elastycznej membrany został wynaleziony w 1947 r. i opatentowany w 1953 r. przez A. Morin'a. Najbardziej znany rodzaj sztucznego mięskły pneumatycznego wynalazł Richard H. Gaylord in 1953 w firmie Clevite Corporation of Cleveland w Ohio. Gaylord opisał mięskły jako podłużną rozciągliwą rurę w osłonie z oplotu. Osłona tworzy pewnego rodzaju komorę, która w trakcie rozszerzania obwodowego skraca się. Najbardziej spektakularnego zastosowania mięskły pneumatycznego dokonał Joseph Laws McKibben's w roku 1957. W tym roku jego córka Karen zachorowała na chorobę Heinego-Medina i została sparaliżowana od szyi w dół. McKibben specjalnie dla córki zaprojektował nowy rodzaj mechanicznego mięskły, który miał wspomagać ruch palców i chwytania. Pomimo, że mięskły pneumatyczne były już znane i wykorzystywane w robotyce to właśnie McKibben po raz pierwszy wykorzystał je do zastosowań protetycznych i wprowadził nazwę sztuczny mięskły. W terminologii znane są również nazwy: sztuczny mięskły pneumatyczny McKibben'a, aktuator McKibben'a czy mięskły McKibben'a. Sztuczne mięskły pneumatyczne zostały skomercjalizowane przez Bridgestone Rubber Company w Japonii w 1980 roku, przez Shadow Robot Company w 1988 roku oraz przez Festo w 1999 roku. Firma Festo najprężniej zaczęła wprowadzać produkt na rynek,

przedstawiając wiele różnych zastosowań aplikacyjnych dla sztucznych mięśni pneumatycznych. W książce S. Hesse „*The Fluidic Muscle in Application*” wydanej przez Festo przedstawiono przykłady 150 zastosowań przemysłowych mięśni pneumatycznych. Pneumatyczne aktulatory mięśniowe mają różne kształty i charakterystyki w zależności od ich budowy i właściwości materiałowych. W artykule [A5] podjąłem prace mające na celu wyznaczenie charakterystyk statycznych i porównanie dwóch rodzajów mięśni oferowanych na rynku europejskim: Festo Fluidic Muscle MAS firmy FESTO oraz Shadow Air Muscle SAM firmy Shadow Robot Company. W literaturze światowej do wyznaczenia względnego skrócenia mięśnia znane jest równanie:

$$\varepsilon = \frac{L_n - L}{L_n} 100\% = \frac{\Delta L}{L_n} 100\%, \quad (4)$$

gdzie:

L_n – nominalna długość mięśnia,

L – długość mięśnia,

ΔL – skrócenie mięśnia.

Jednak równania tego nie można zastosować dla mięśni McKibben, dlatego wprowadziłem po raz pierwszy następujące równania do wyznaczenia względnego skrócenia mięśnia:

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{L_{max} - L}{L_{max}} \cdot 100\% & \text{for Shadow Air Muscle} \\ \frac{L_n - L}{L_n} \cdot 100\% & \text{for Festo Fluidic Muscle MAS} \end{cases}, \quad (5)$$

$$\varepsilon_{min} = \frac{L_n - L_{max}}{L_n} \cdot 100\%, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{max} = \begin{cases} \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max}} \cdot 100\% & \text{for Shadow Air Muscle} \\ \frac{L_n - L_{min}}{L_n} \cdot 100\% & \text{for Festo Fluidic Muscle MAS} \end{cases}, \quad (7)$$

gdzie:

L – długość mięśnia,

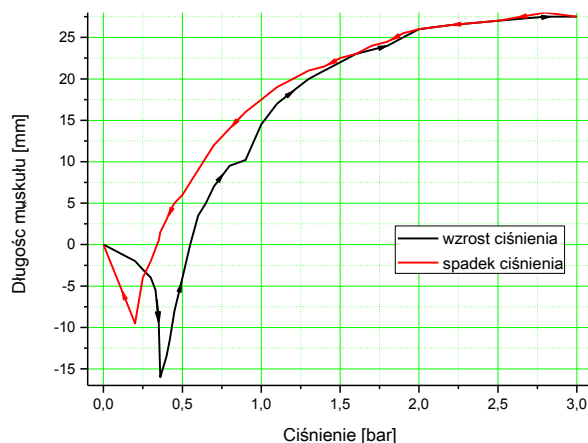
L_n – nominalna długość mięśnia,

L_{max} – długość mięśnia w trakcie maksymalnego rozciągnięcia,

L_{min} – długość mięśnia w trakcie maksymalnego skrócenia.

W trakcie projektowania maszyn i urządzeń z mięśniowym napędem pneumatycznym niezbędna jest wiedza dotycząca obszaru dopuszczalnego zakresu pracy mięśnia pneumatycznego, który jest ograniczony maksymalną dopuszczalną siłą ciągnącą, maksymalnym stopniem skrócenia, maksymalnym dopuszczalnym ciśnieniem

wewnątrz muskułu, maksymalnym dopuszczalnym wydłużeniem muskułu oraz wiedza dotycząca charakterystyk statycznych. W zależności od zadania jakie będzie wykonywać urządzenie, inżynier musi znać charakterystyki izobaryczne, izotoniczne oraz izometryczne. Wyznaczanie charakterystyk statycznych sztucznych muskułów pneumatycznych prowadzi się w sposób eksperymentalny indywidualnie dla każdego muskułu. Wynika to bezpośrednio z dokładności wykonania muskułów i warunków pracy. Przeprowadzone pomiary geometryczne wykazały różnice długości muskułów Shadow Air Muscle wynoszące kilka milimetrów. Pęcherze muskułów SAM mają również różne średnice. Dodatkowo muskuły SAM nie są prostoliniowe – mają kształt elipsy (rys. 15a), co wpływa na występowanie dużej histerezy (rys. 15b). Zauważono problemy z pozycjonowaniem muskułów SAM, gdyż w początkowej fazie wzrostu ciśnienia następuje wydłużanie muskułu, a dopiero po wyprostowaniu muskułu, przy pewnej wartości ciśnienia następuje skurcz muskułu (rys. 15 b). W trakcie badań zaobserwowano silną zależność dokładności od temperatury, rodzaju oplotu i maksymalnego ciśnienia pracy.



Rys. 15. Muskuł Shadow Air Muscle: a) widok ogólny, b) histereza

W artykule [A5] opracowałem również nowy wzór na siłę ciągnącą muskułu:

$$F(\varepsilon, p) = p \cdot D^2 [a(1 - \varepsilon)^n - b], \quad (8)$$

gdzie:

F – siła ciągnąca,

ε – stopień skrócenia muskułu,

p – ciśnienie,

D – średnica muskułu,

b – stała mięśnia,

$a(p) = j \cdot e^{\left(\frac{-p}{k}\right)} + l$ – parametr mięśnia,

gdzie: j, k, l – stałe współczynniki,

$n(p) = m \cdot e^{\left(\frac{-p}{n}\right)} + o$ – wykładnik,
gdzie: m, n, o – stałe współczynniki.

Współczynniki zostały wyznaczone eksperymentalnie i wynoszą odpowiednio:

Tabela 4. Współczynniki i stałe mięśni

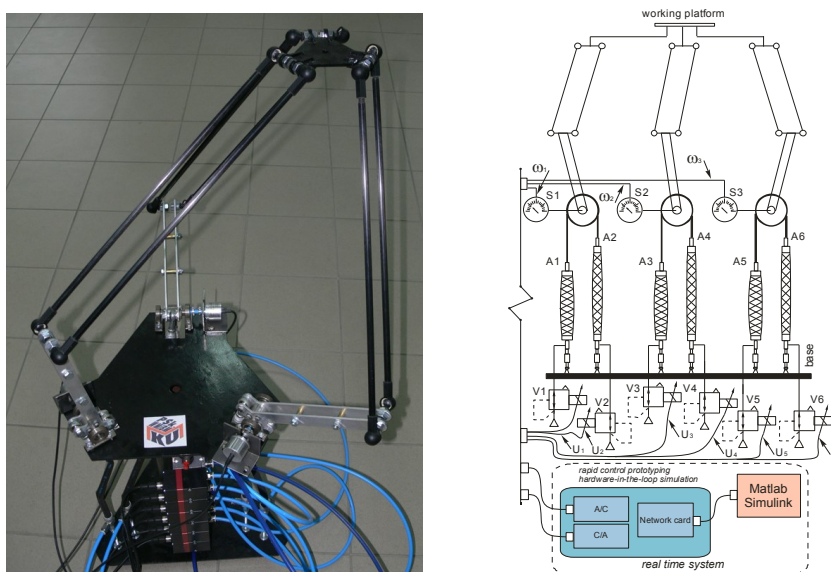
	j	k	l	m	n	o	b
MAS	10,87	137324	16,89	80,09	108687	3,12	8
SAM	-73,23	34098	60,9	34,81	22284	3,71	10

Wzór (8) z bardzo dobrym dopasowaniem odpowiada charakterystykom eksperymentalnym i można go stosować do doboru i aplikacji sztucznych mięśni pneumatycznych MAS i SAM.

Kolejna z prac [A9] dotyczyła rozwiązania problemu wyznaczania charakterystyk dynamicznych mięśni pneumatycznych. We wcześniejszych pracach podjąłem już takie próby ale z powodu niedoskonałości stanowiska eksperymentalnego badania były obarczone błędami. Pierwsze stanowisko składało się z obciążenia masowego, które było połączone z mięśniem za pomocą stalowej linki podpartej na kole pasowym. Budowa stanowiska wprowadzała szkodliwe luzy i naprężenia. Autor wraz z zespołem zaprojektował specjalne stanowisko badawcze do wyznaczania charakterystyk statycznych i dynamicznych mięśni pneumatycznych. Projekt został zgłoszony do UPRP i uzyskał ochronę pod nr PL 223042, „*Urządzenie do badań, zwłaszcza dynamicznych, pneumatycznych napędów mięśniowych*”. W pracy [A9] przedstawiłem badania eksperymentalne prowadzone na tym stanowisku w celu wyznaczenia charakterystyk dynamicznych mięśnia pneumatycznego MAS-10-300. Stanowisko jest zbudowane z elementów wykonanych ze stali nierdzewnej, a konstrukcją przypomina wagę szalkową. Do stelaża w kształcie odwróconej litery „T” przymocowano centralnie obrotowe ramię. Na jednym końcu ramienia zamocowany jest sztuczny mięsień pneumatyczny, zaś na drugim masa obciążająca. Pod wpływem skurczu mięśnia ramię obraca się na dwóch łożyskach igiełkowych, a zmiana kąta obrotu mierzona jest przez czujnik położenia kąтового. Do sterowania mięśniem pneumatycznym zastosowano piezoelektryczny proporcjonalny zawór ciśnieniowy Hoerbiger Tecno Plus. Zawór charakteryzuje się bardzo krótkim czasem odpowiedzi i bardzo małym poborem energii (ze względu na przetwornik piezoelektryczny w zaworze). W układzie pomiarowym zastosowano czujnik położenia kąтового z wyjściem analogowym oraz czujnik ciśnienia również z wyjściem analogowym. Czujnik położenia kąтового mierzy kąt obrotu ramienia wynikający ze skrócenia mięśnia. Do akwizycji danych pomiarowych oraz sterowania zaworem zastosowałem system czasu rzeczywistego xPC Target z pakietu Matlab oraz dedykowaną platformę sprzętową SpeedGoat. W układzie pomiarowym nie ma bezpośredniego pomiaru skrócenia mięśnia dlatego w tym celu

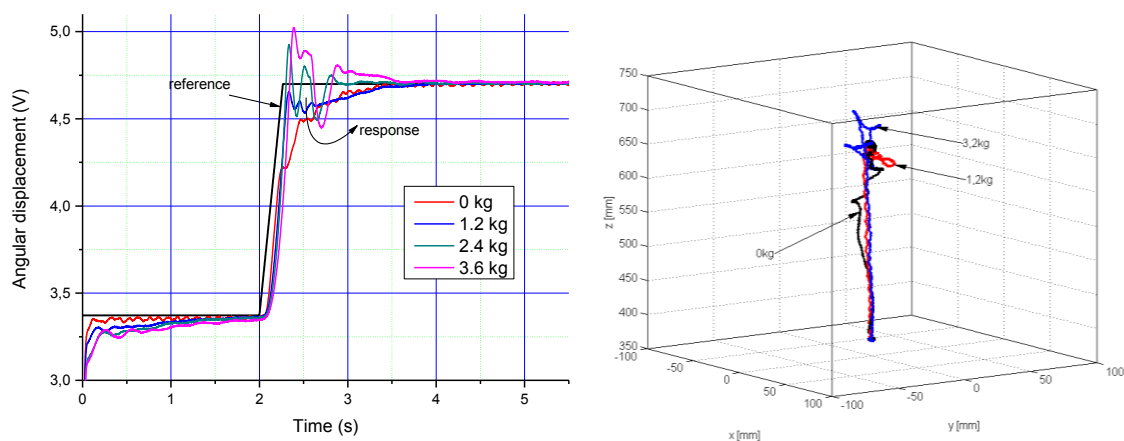
wyprowadziłem zależności trygonometryczne zachodzące w trakcie pracy muskułu i zmierzające do obliczenia skrócenia muskułu. Wyzaczyłem charakterystyki względnego skrócenia muskułu w funkcji ciśnienia i wykazałem występującą histerezę muskułu pneumatycznego. Histereza pojawia się we wszystkich typach badanych muskułów. Podjąłem już prace zmierzające do rozwiązania tego problemu przez zastosowanie regulatorów rozmytych oraz modyfikacje ze wstępnym napięciem muskułu. W pracy wyznaczyłem charakterystyki dynamiczne sztucznego muskułu pneumatycznego dla trzech różnych sygnałów sterujących: skokowego, prostokątnego i sinusoidalnego. Dokonałem weryfikacji wyników i porównałem otrzymane wyniki z parametrami katalogowymi firmy Festo. Uzyskane dane były zgodne co potwierdza, że zaprojektowane stanowisko, układ pomiarowy i układ sterowania oraz opracowaną metodę badań można stosować w badaniach eksperymentalnych różnego typu muskułów pneumatycznych.

Znajomość charakterystyk statycznych i dynamicznych determinuje zastosowanie muskułów pneumatycznych w różnych urządzeniach i procesach. W Politechnice Świętokrzyskiej zaprojektowano i wykonano manipulator elektropneumatyczny typu DELTA, w którym jako napędy użyto sztucznych muskułów pneumatycznych. W celu przeniesienia napędu na ramię manipulatora, podczas antagonistycznej pracy pary muskułów pneumatycznych, opracowano specjalną dźwignię dwuramienną, która jest jednym z zastrzeżeń patentowych w patencie nr PL 213839, *Manipulator równoległy trójramienny o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu Delta o trzech stopniach swobody*, gdzie jestem współautorem. W pracy [A6] zająłem się zaprojektowaniem układu sterowania dla manipulatora DELTA ze sztucznymi muskułami pneumatycznymi (rys. 16).



Rys. 16. Manipulator równoległy DELTA: a) widok ogólny, b) schemat układu sterowania

Manipulator typu DELTA posiada 3 ramiona napędzane 3 parami mięśniów pneumatycznych. Każdy mięsień jest sterowany precyzyjnym piezoelektrycznym zaworem proporcjonalnym ciśnienia Hoerbiger Tecno Plus takim samym jakiego użyto w pracy [A9]. Na każdym ramieniu manipulatora zainstalowano przetwornik położenia kątownego, który pracuje w ujemnej pętli sprzężenia zwrotnego. Wszystkie sygnały wejściowe i wyjściowe podłączono do przetworników AC i CA. Jako platformę sprzętową zastosowano system „Education real-time target machine” firmy SpeedGoat, a jako platformę programową system szybkiego prototypowania sterowania RCP z oprogramowaniem Matlab i xPC Target. Układ sterowania pracował w czasie rzeczywistym z okresem próbkowania 0,001 s. Do sterowania proporcjonalnymi zaworami ciśnieniowymi zastosowałem klasyczny regulator PID. W układzie sterowania zastosowałem trzy jednakowe regulatory PID ze względu na konieczność sterowania trzema osiami napędowymi manipulatora. Dobór nastaw regulatora przeprowadziłem metodą inżynierską Zieglera Nicholasa opartą na ocenie układu znajdującego się na granicy stabilności. Badania eksperymentalne miały na celu określenie dokładności i powtarzalności pozycjonowania efektora manipulatora w pętli zamkniętej z regulatorem PID dla wybranych obciążeń masowych. Przeprowadziłem badania z obciążeniem masowym platformy roboczej manipulatora w zakresie 0-3,6 kg zmienianej co 0,2 kg. Przeprowadziłem analizę jakościową regulatora PID w funkcji obciążenia masowego platformy roboczej. Zaprojektowany układ sterowania umożliwia regulację przestawną, nadążną i kontrolę trajektorii platformy roboczej (rys. 17).



Rys. 17. Proces pozycjonowania manipulatora: a) jedno z ramion, b) efektor manipulatora

Manipulator jest odporny na obciążenia platformy roboczej np. nagłe uderzenie w platformę czy zderzenie platformy z przeszkodą. Takie przypadki są automatycznie kompensowane ze względu na zastosowany rodzaj napędu (możliwość przeciążania mięśniów pneumatycznych bez konieczności stosowania zabezpieczeń) i ze względu

na zastosowane zawory sterujące (proporcjonalne zawory ciśnieniowe z elektroniczną regulacją ciśnienia wyjściowego) oraz ze względu na zastosowany układ sterowania. Poprawę jakości sterowania może zapewnić układ sterowania wykorzystujący metody miękkiego obliczania. Podjąłem prace zmierzające do rozwiązania tego zagadnienia w kolejnej wersji manipulatora typu DELTA.

Manipulator typu DELTA był prezentowany na wielu targach i wystawach, gdzie uzyskał szereg nagród i wyróżnień. Prace naukowo-badawcze dotyczące manipulatora typu DELTA były finansowane ze środków MNiSW nr N514 217038 „Projekt i badania symulacyjne i doświadczalne manipulatora o kinematyce równoległej typu DELTA z pneumatycznymi napędami mięśniowymi”, gdzie byłem członkiem zespołu B+R. Projekt manipulatora DELTA był wciąż rozwijany i przystosowywany pod kątem zastosowań rehabilitacyjnych. Na realizację tego przedsięwzięcia uzyskaliśmy finansowanie z NCN i NCBR w programie TANGO nr TANGO1/270131/NCBR/2015 „Projekt, badania symulacyjne i eksperymentalne równoległego manipulatora typu DELTA z sztucznymi mięśniami pneumatycznymi”, gdzie byłem członkiem zespołu B+R.

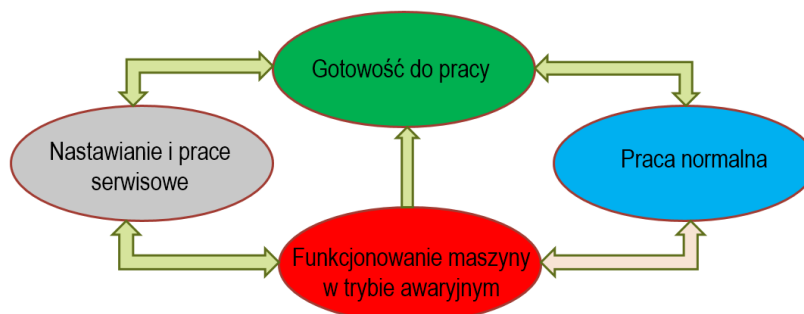
W monografii [A11] podjąłem się usystematyzowania funkcji bezpieczeństwa układów pneumatycznych. Zapewnienie bezpiecznego funkcjonowania maszyny jest niezwykle ważne już na etapie projektowania, a także w trakcie eksploatacji i obsługi maszyn. W odniesieniu do przemysłu wytwórczego wprowadzono pojęcie przemysłowego Internetu rzeczy (ang. *industrial internet of things*) IIoT, który jest częścią większej koncepcji IoT wyjaśnionej na wstępie autoreferatu. IIoT ma za zadanie wprowadzić nową jakość w produkcji, umożliwiając pozyskiwanie i dostępność znacznie większej ilości danych, z dużo większą prędkością i znacznie wydajniej niż wcześniej. IIoT może znacznie poprawić wymianę danych, wydajność, oszczędność czasu i oszczędność kosztów w firmach przemysłowych. Wiele innowacyjnych firm zaczęło wdrażać IIoT, wykorzystując inteligentne urządzenia połączone w sieciach w swoich fabrykach. Sieci umożliwiają łączenie zasobów ludzkich przedsiębiorstwa, danych i procesów z poziomu fabryki bezpośrednio z biurami projektowymi i konstrukcyjnymi. Dodatkowo osoby odpowiadające za aspekty biznesowe firmy mają stały dostęp do niezbędnych informacji co pomaga znacznie szybciej podejmować strategiczne decyzje. Interoperacyjność i bezpieczeństwo to prawdopodobnie dwa największe wyzwania związane z wdrażaniem IIoT. Problem interoperacyjności występuje na poziomie połączenia urządzeń i maszyn, które używają różnych protokołów i mają różne architektury. Natomiast rozwój systemów sensorowych, czujników, urządzeń kontrolujących i nadzorujących, produkcja maszyn autonomicznych, urządzeń samodiagnostujących, maszyn podejmujących decyzje, produkcja maszyn przez maszyny, zagęszczenie urządzeń, manipulatorów i robotów wymusza rozwój układów zabezpieczających. Firmy modernizują systemy, sprzęt

i oprogramowanie aby sprostać nowym regulacjom prawnym, nadażyć za rosnącą szybkością i zmiennością rynku oraz radzić sobie z przełomowymi technologiami, które muszą być bezpieczne. Optymalne współdziałanie elementów pneumatycznych, czujników oraz systemów sterowania gwarantuje bezpieczeństwo całych systemów produkcyjnych. Zgodnie z Dyrektywą Maszynową element bezpieczeństwa to element który:

- między innymi służy do spełniania funkcji bezpieczeństwa,
- jest wprowadzony do obrotu niezależnie,
- którego uszkodzenie lub nieprawidłowe działanie zagraża bezpieczeństwu osób,
- który nie jest niezbędny do działania maszyny lub który można zastąpić zwykłymi elementami tak, aby maszyna mogła działać.

Dyrektywa Maszynowa definiuje funkcjonowanie układu sterowania w przypadku defektu lub błędu sprzętowego lub programowego. W wymaganiach uwzględniono możliwość wystąpienia defektów układu sterowania spowodowanych przez np. uszkodzenie elementu mechanicznego, hydraulicznego, pneumatycznego lub elektrycznego lub błędem w oprogramowaniu układu programowalnego. Układy sterowania muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby ewentualne defekty lub błędy nie prowadziły do sytuacji niebezpiecznych. W układach pneumatycznych w trakcie eksploatacji wyróżniłem cztery stany (rys. 18):

- gotowość do pracy (postój),
- praca normalna,
- nastawianie i prace serwisowe,
- funkcjonowanie maszyny w sytuacji awaryjnej.



Rys. 18. Stany pracy układów pneumatycznych

W każdym stanie maszyny wyróżniłem pneumatyczne funkcje bezpieczeństwa:

- bezpieczne zatrzymanie, trzymanie, blokowanie ruchu,
- bezpieczne odpowietrzenie,
- bezpieczne zasilanie,
- bezpieczny ruch powrotny,
- bezpieczne wysunięcie,
- zmniejszenie ciśnienia i siły,
- zmniejszenie prędkości,

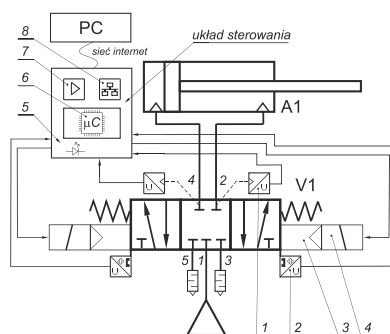
- sterowanie oburęczne,
- zabezpieczenie przed niespodziewanym uruchomieniem,
- zatrzymanie awaryjne.

W pracy [11] opisałem funkcje diagnostyczne układów sterowania. Dla każdego stanu maszyny zaprojektowałem i opisałem zasadę działania układu sterowania pneumatycznego, który spełnia funkcje bezpieczeństwa. Dodatkowo w przypadku stosowania układów z napędami serwopneumatycznymi zaprojektowałem układy sterowania obejmujące serwopneumatyczne funkcje bezpieczeństwa.

Pozostałe wyniki prac naukowo badawczych oraz rozwiązania techniczne

Nowoczesny rynek implementujący sterowniki PLC, oprogramowanie przemysłowe (SCADA – ang. *supervisory control and data acquisition*), ERP – ang. *enterprise resource planning*, MES – ang. *manufacturing execution system*) oraz roboty przemysłowe umożliwia pełną kontrolę przebiegu procesu produkcji. Zakłady przemysłowe zmuszone zostały do szybkiego reagowania na zmiany i wymagania rynku. Firmy zaczęły stosować elastyczne systemy produkcyjne, co przełożyło się na możliwość zmienności i wytwarzania szerokiej gamy produktów o konkretnych parametrach oraz zwiększenie wydajności. W chwili obecnej przemysł jest w fazie czwartej rewolucji przemysłowej określanej mianem Przemysł 4.0, która opiera się o tzw. „Internet Rzeczy”. IoT umożliwia globalny dostęp do danych oraz maszyn i urządzeń za pomocą sieci komunikacyjnej. IoT monitoruje procesy i zarządza nimi, umożliwia przechwytywanie danych w czasie rzeczywistym i ich analizę. Dzięki IoT możliwa jest również inteligencja maszynowa, która zakłada autonomizację procesów produkcyjnych wraz z organizacją produkcji, inteligentnymi magazynami, kontrolą dostaw i autodiagnostyką. IoT to sieć inteligentnych komputerów, urządzeń i obiektów, które zbierają i udostępniają ogromne ilości danych. Zebrane dane są przesyłane do centralnej usługi opartej na chmurze, gdzie są agregowane z innymi danymi, a następnie dzielone z użytkownikami końcowymi w odpowiedni do oczekiwań sposób. IoT ma za zadanie zwiększyć automatyzację w domach, szkołach, sklepach, przemyśle i wielu innych dziedzinach.

Producenci branży pneumatycznej również realizują koncepcję Przemysłu 4.0, poprzez ciągłe udoskonalanie swoich produktów pod względem wytrzymałości i trwałości, funkcjonalności, względów bezpieczeństwa, inteligencji maszynowej a nawet estetyki. W swoich pracach również zająłem się tym problemem, a efektem tych prac jest inteligentna pneumatyczna wyspa zaworowa (rys. 19).

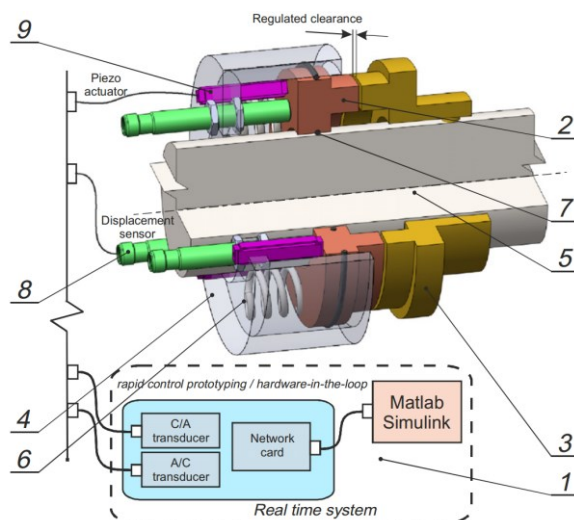


Rys. 19. Schemat samodiagnostycznej pneumatycznej wyspy zaworowej zintegrowanej z komunikacją sieciową

Jako współautor projektu wraz z zespołem wykonaliśmy samodiagnostyczną pneumatyczną wyspę zaworową zintegrowaną z komunikacją sieciową, która realizuje zadania IoT. Część projektu została zgłoszona do Urzędu Patentowego RP i uzyskała ochronę patentową nr PL 221414 pod nazwą „Zawór do sterowania napędów płynowych zwłaszcza pneumatycznych napędów siłownikowych oraz układ sterowania zaworami napędów płynowych”, gdzie jestem współautorem. Produkt został zaprojektowany i wykonany przy współudziale partnera przemysłowego Ośrodka Badawczo Rozwojowego Elementów i Układów Pneumatyki Sp. z o.o oraz doceniony na targach i wystawach branżowych otrzymując dwie nagrody międzynarodowe oraz dwie nagrody krajowe.

W trakcie działalności naukowej podjąłem również zagadnienia związane z problematyką bezstykowych uszczelnień czołowych [A3] stosowanych w urządzeniach o podwyższonych parametrach pracy np. ciśnieniu czy prędkości obrotowej. Uszczelnienia bezstykowe z uwagi na swą specyficzną konstrukcję oraz zróżnicowane warunki pracy są newralgicznymi elementami węzłów uszczelniających maszyn i urządzeń. W uszczelnieniach bezstykowych, ze względów konstrukcyjnych zakłada się pracę takiego uszczelnienia z pewnym określonym przeciekiem. Z tego względu szczególnie ważne jest utrzymywanie między powierzchniami czołowymi współpracujących pierścieni, stabilnej szczeliny promieniowej dławiącej przeciek. Szczelina jest wypełniona uszczelnianym medium i tworzy ciągłą warstwę o wysokości rzędu kilku mikrometrów. W przypadku, gdy czołowe pierścienie są ustawione względem siebie równoległe, szczelina ma praktycznie stałą wartość zbliżoną do wartości nominalnej. Jednak ze względu na występujące zakłócenia w postaci błędów montażowych, czy ugięcia wału w trakcie pracy pojawia się problem niewspółosiowego położenia pierścieni uszczelniających. Sposobem na wyeliminowanie tego zjawiska i utrzymaniem stabilnej warstwy medium rozdzielającej pierścienie robocze jest zastosowanie regulacji wysokości szczeliny promieniowej w czasie pracy urządzenia. W artykule [A3] przedstawiłem projekt i koncepcję implementacji systemu czasu

rzeczywistego do sterowania piezoaktuatorami dla aktywnego uszczelnienia czołowego (rys. 20).



Rys. 20. Projekt aktywnego uszczelnienia czołowego: 1 – system sterowania, 2 – stator, 3 – rotor, 4 – obudowa, 5 – wał, 6 – sprężyna, 7 – uszczelnienie, 8 – czujnik przemieszczenia, 9 – piezonapęd

Zaproponowałem algorytmy sterowania PID dla piezoaktuatorów. W dotychczasowej literaturze nie przedstawiono podobnego rozwiązania. Ze względu na bardzo precyzyjne przemieszczenia piezoaktuatorów, generowane duże siły i odpowiednie sterowanie (przeszyczenie piezoaktuatora jest proporcjonalne do przyłożonego napięcia $x=f(U)$) można zbudować aktywne uszczelnienie czołowe z możliwością precyzyjnej regulacji szczeliny.

Wraz z zespołem podjąłem próbę wykonania sztucznych mięśni pneumatycznych typu pęcherzowego, w których wyeliminowano część wad przedstawionych w autoreferacie oraz opisanych w artykule [A5]. Ostatnia wersja mięśnia przedstawiona na rys. 21 i oznaczona symbolem PAM-20-330 charakteryzuje się parametrami przedstawionymi w Tabeli 5. Część przedstawionych parametrów wyznaczyłem na stanowisku opisanym wcześniej. Na tym samym stanowisku wyznaczyłem również charakterystyki statyczne tego mięśnia lecz wyniki tych prac nie zostały jeszcze opublikowane.



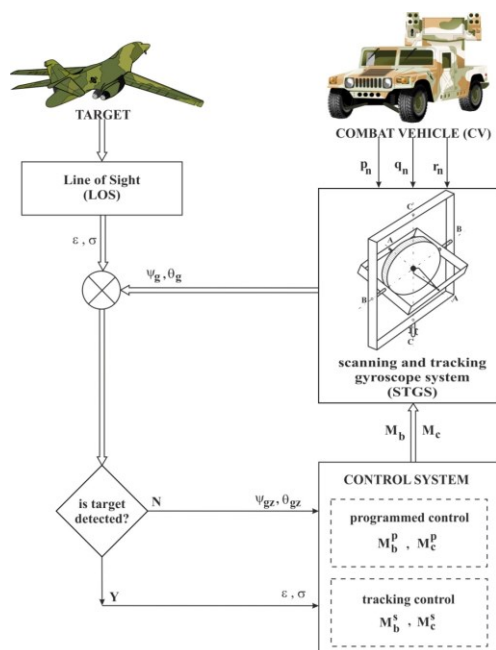
Rys. 21. Widok ogólny PAM-20-330

Tabela 5. Parametry muskułu PAM-20-330

Parametr	Wartość
Symbol	PAM-20-330
Rodzaj pracy	jednostronnego działania, ciągnący
Średnica wewnętrzna D_n	20 mm
Długość nominalna L_n	330 mm
Długość w trakcie maksymalnego skrócenia, L_{min}	290 mm
długość w trakcie maksymalnego rozciągnięcia, L_{max}	410 mm
Maksymalne ciśnienie pracy p	0,5 MPa
Maksymalny stopień rozciągnięcia ε_{min}	-24,2 % of L_n
Maksymalny stopień skrócenia ε_{max}	29,3 % of L_{max}
Maksymalna siła ciągnąca F_{max}	775 N

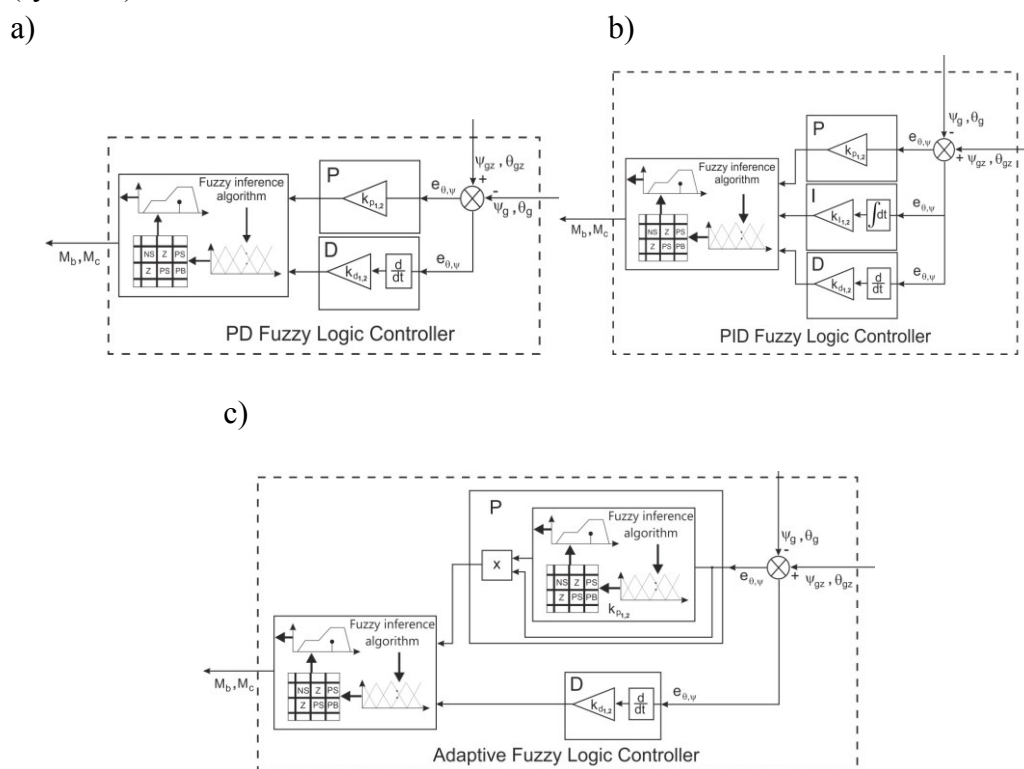
Dla mięśni opracowano unikatowy system zagniatania końcówek. Wykonanie mięśni McKibben z dużą powtarzalnością jest trudne. Związane jest to z rodzajem materiałów użytych do produkcji (elastyczny pęcherz i elastyczna siatka, konieczność wstępnego napięcia pęcherza, wykonanie bezpiecznego i mocnego zgniotu końcówek przyłączeniowych). W porównaniu do parametrów mięśni oferowanych przez topowych producentów [A5], mięsień PAM-20-300 wykonany w Politechnice Świętokrzyskiej charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami użytkowymi.

W swojej pracy naukowej podjąłem również zagadnienia zastosowania regulatorów rozmytych do sterowania układów mechanicznych w postaci giroskopowego układu skanującego i śledzącego zamontowanego na wozie bojowym [A8] (rys. 22).



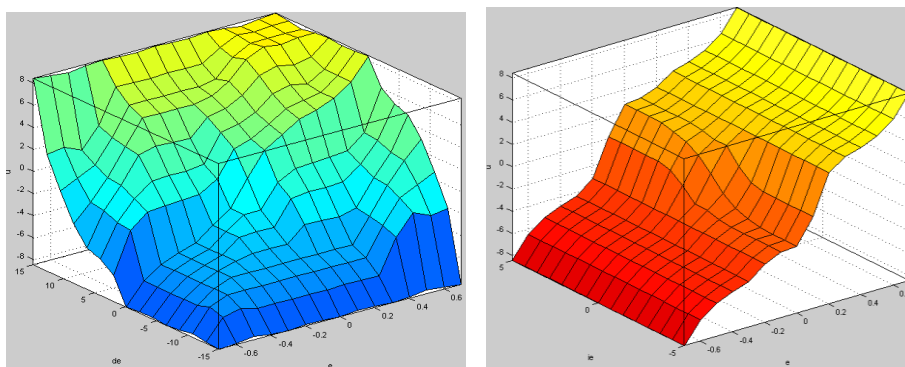
Rys. 22. Giroskopowy układ skanująco-śledzący

W pracy przedstawiono model symulacyjny obiektu jako układ równań Lagrange II rodzaju. Algorytm sterowania groskopowym układem skanująco-śledzącym pozwala na szybkie znalezienie celu w przestrzeni, stabilne utrzymywanie wykrytego celu w polu widzenia układu optycznego oraz atakowanie celu podczas ruchu pojazdu bojowego. Zwiększa to skuteczność i mobilność samobieżnego zestawu raketowego. Zadaniem układu sterowania jest takie generowanie momentów sterujących aby uchyby kątów określających położenie linii obserwacji celu w przestrzeni były minimalne. Standardowo do zmian momentów sterujących stosuje się klasyczny regulator PD. W celu poprawy jakości regulacji, a szczególnie skrócenia czasu skanowania i poszukiwania celu zaprojektowałem 3 rodzaje regulatorów rozmytych: regulator rozmyty PD (rys. 23a), regulator rozmyty PID (rys. 23b) oraz adaptacyjny regulator PD (rys. 23c).



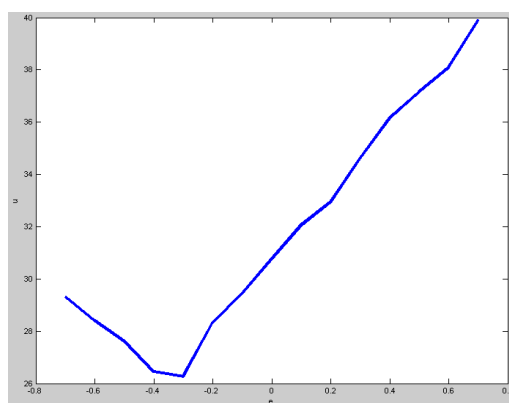
Rys. 23. Regulator rozmyty: a) PD, b) PID, c) adaptacyjny

Zaprojektowałem 2 bazy reguł rozmytych dla regulatora PD i PID odpowiednio zawierające 25 (rys. 24a) i 10 reguł rozmytych (rys. 24b).



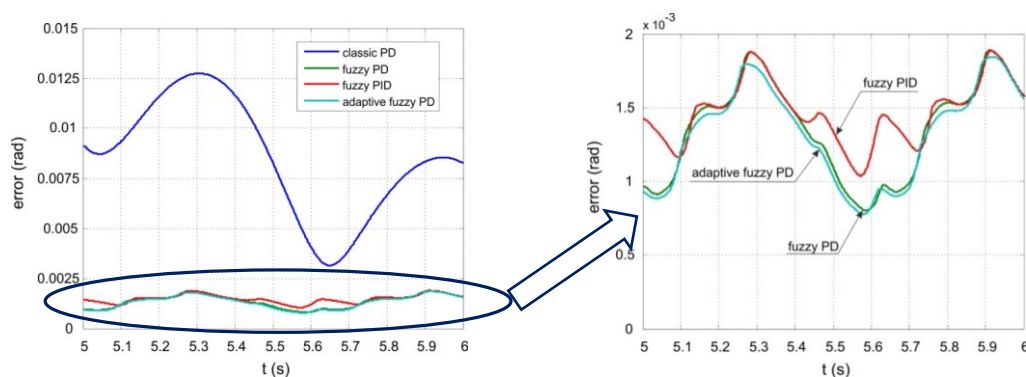
Rys. 24. Baza reguł: a) zmienna e i de , b) zmienna e i ie

W przypadku adaptacyjnego regulatora rozmytego przeprowadzono rozmytą adaptację współczynników wzmocnienia k_{p1} i k_{p2} (rys. 25).



Rys. 25. Krzywa sterowania

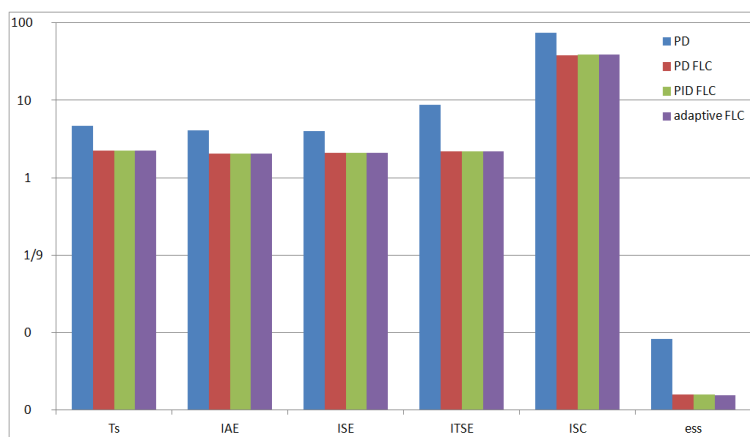
Przeprowadziłem badania symulacyjne zaprojektowanych regulatorów oraz badania porównawcze z regulatorem PD (rys. 26).



Rys. 26. Proces regulacji

Przeprowadziłem analizę jakości sterowania zaprojektowanych regulatorów za pomocą następujących wskaźników jakości: czas regulacji, uchyb w stanie ustalonym e_{ss} , całka

z bezwzględnej wartości uchybu IAE , całka z kwadratu uchybu ISE , całka z iloczynu czasu i kwadratu uchybu $ITSE$, całka z kwadratu sygnału sterującego ISC . Wszystkie regulatory rozmyte okazały się lepsze od regulatora PD. Uzyskano skrócenie czasu poszukiwania celu z 4,7s do 2,2s. Pozostałe wskaźniki jakości również okazały się mniejsze od regulatora PD jednak jednoznacznie nie można stwierdzić, który z regulatorów jest optymalny (rys. 27). W celu weryfikacji otrzymanych wyników badań niezbędne jest przeprowadzenie badań na obiekcie rzeczywistym.



Rys. 27. Wskaźniki jakości regulacji

W głównej mierze zależy to od tego, który ze wskaźników zostanie wzięty pod uwagę. W przypadku rozmytego regulatora adaptacyjnego 3 wskaźniki jakości uzyskują wartości minimalne: IAE , $ITSE$, e_{ss} . W przypadku konieczności minimalizacji kosztów sterowania i optymalizacji wskaźnikiem ISC najlepszy jest regulator rozmyty PD.

Podsumowanie i wnioski ogólne

W swojej pracy badawczej zajmowałem się modelowaniem procesów zachodzących w trakcie ruchu napędów pneumatycznych, głównie siłowników tłokowych, sztucznych mięśni pneumatycznych i elementów sterujących napędami pneumatycznymi. Opracowane modele były wykorzystane do badań symulacyjnych z różnymi układami sterowania napędów pneumatycznych głównie regulatorów rozmytych, klasycznych regulatorów PID i adaptacyjnych regulatorów rozmytych. Zaprojektowane i przetestowane symulacyjnie regulatory były implementowane do pracy w układach rzeczywistych za pomocą technik szybkiego prototypowania sterowania i symulacji *hardware-in-the-loop*. Głównym celem prowadzonych przeze mnie badań była poprawa dokładności i jakości sterowania pozycyjnego wybranymi napędami pneumatycznymi. Większość badań była weryfikowana na stanowiskach eksperymentalnych, potwierdzając słuszność przyjętych założeń.

Szczegółowe wnioski z prowadzonych badań były formułowane w poszczególnych artykułach stanowiących monotematyczny cykl publikacji naukowych, dlatego podsumowaniu przedstawię i przeanalizuję ogólne wnioski wynikające z prowadzonych prac badawczych.

1. Rozwinięto nieliniowy model serwonapędu elektropneumatycznego zbudowanego z siłownika beztłoczkowego, zaworu proporcjonalnego przepływu z przekryciem ujemnym, przetwornika elektromagnetycznego zaworu. Efekty badań modelowych zapisano w postaci:

- równania ruchu tłoka siłownika beztłoczkowego,
- równania ruchu suwaka zaworu proporcjonalnego przepływu,
- równania ciśnień w komorach siłownika,
- równania masowego natężenia przepływu przez okna przepływowe zaworu.

Opracowany model wykorzystałem do przeprowadzenia badań symulacyjnych. Model szczegółowo odzwierciedla zachowanie serwonapędu, dzięki czemu można go adoptować w celu testowania z różnymi regulatorami. Na podstawie badań symulacyjnych zaprojektowałem regulator rozmyty do sterowania pozycyjnego serwonapędu elektropneumatycznego. Pozytywne wyniki badań symulacyjnych były podstawą do podjęcia prac w celu zaprojektowania stanowiska eksperymentalnego do pozycjonowania serwonapędu elektropneumatycznego z regulatorem rozmytym. Wykorzystałem technikę szybkiego prototypowania sterowania. Do poprawnego zaprojektowania regulatora niezbędne były charakterystyki zaworu proporcjonalnego przepływu, służącego do sterowania siłownikiem. W tym celu przeprowadziłem badania modelowe zaworu oraz szereg badań eksperymentalnych, dzięki którym wyznaczyłem parametry zaworu. Badania ujawniły kilka nieliniowości w działaniu zaworu, które można skutecznie skompensować za pomocą logiki rozmytej. Zaprojektowany regulator rozmyty działa optymalnie uzyskując odpowiednie wskaźniki jakości regulacji. Dodatkowo dla serwonapędu zaprojektowałem układ typu *haptic*. Do chwili opublikowania artykułu [A1] w dostępnej literaturze nie była poruszana tematyka sterowania rozmytego serwonapędem elektropneumatycznym oraz układu *haptic* dla osi serwopneumatycznej. Przeprowadziłem również badania porównawcze zaprojektowanego regulatora rozmytego z przemysłowym regulatorem zmiennych stanu SPC200. Zaprojektowany regulator rozmyty okazał się skuteczniejszy od regulatora zmiennych stanu. Kolejne moje prace były ukierunkowane w celu uzyskania dalszej poprawy jakości regulacji. W tym celu zaprojektowałem specjalny siłownik beztłoczkowy ze zintegrowanym wewnętrznym przetwornikiem położenia i prędkości. Do sterowania nowego serwonapędu zaprojektowałem modyfikowany regulator rozmyty PD z bezpośrednim pomiarem sygnału w torze D (bez konieczności odtwarzania zmiennej stanu). Regulator ten osiągnął jeszcze lepszą jakość sterowania. Efekty tych prac były publikowane w artykułach [A1], [A2], [A7] i [A10].

2. Dalsza tematyka moich prac dotyczyła sterowania elastycznym napędem pneumatycznym w postaci sztucznego mięśnia pneumatycznego. Początkowo prace ukierunkowałem w celu wyznaczenia charakterystyk statycznych i porównania dwóch rodzajów mięśni oferowanych w Europie: Festo Fluidic Muscle MAS firmy FESTO oraz Shadow Air Muscle SAM firmy Shadow Robot Company. Mięsień SAM należy do grupy mięśni pęcherzowych. W literaturze nie było odpowiednich równań opisujących stopień skrócenia tego typu mięśni dlatego wprowadziłem nowe równania opisujące maksymalny stopień rozciągnięcia, maksymalny stopień skrócenia oraz względny stopień skrócenia dla mięśni SAM i MAS. Następnie opracowałem wzór na siłę ciągnącą mięśnia, w którym parametry mięśni wyznaczone są eksperymentalnie. Wzór ten z dobrym dopasowaniem odpowiada charakterystykom eksperymentalnym i można go stosować do doboru i aplikacji sztucznych mięśni pneumatycznych MAS i SAM. Kolejne prace dotyczyły wyznaczenia charakterystyk dynamicznych sztucznych mięśni pneumatycznych. W tym celu opracowano specjalne stanowisko eksperymentalne pod nazwą „*Urządzenie do badań, zwłaszcza dynamicznych, pneumatycznych napędów mięśniowych*”, które jest objęte ochroną w UPRP i którego jestem współautorem. Wyprowadziłem zależności trygonometryczne zachodzące w trakcie pracy mięśnia zmierzające do obliczenia stopnia skrócenia mięśnia. Zaprojektowane stanowisko, układ pomiarowy i układ sterowania oraz opracowaną metodę badań można stosować w badaniach eksperymentalnych różnego typu mięśni pneumatycznych. Na podstawie otrzymanych wyników badań zaprojektowałem układ sterowania dla manipulatora DELTA ze sztucznymi mięśniami pneumatycznymi. Manipulator charakteryzuje się łagodnym startem i zatrzymaniem, „miękkim” działaniem, jest odporny na obciążenia zewnętrzne platformy roboczej, generuje siłę, którą można sterować przez zmiany ciśnienia. Konstrukcja manipulatora i układ sterowania były projektowane w kierunku wykorzystania manipulatora do celów rehabilitacyjnych i cel ten został w pełni osiągnięty w postaci drugiej wersji manipulatora DELTA do celów rehabilitacyjnych. Wyniki opisanych prac opublikowano w następujących artykułach: [A5], [A6] i [A9].

3. Kolejne prace dotyczyły wykorzystania zdobytej wiedzy dotyczącej osi serwopneumatycznych i regulatora zmiennych stanu w zastosowaniu do sterowania manipulatorem tripod. Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych i przeprowadzonej analizie powtarzalności i dokładności pozycjonowania potwierdzono, że możliwe jest wykorzystanie sterownika przemysłowego do procesu pozycjonowania efektora zaprojektowanego manipulatora równoległego w mniej wymagających procesach automatyzacji np. paletyzacji, sortowaniu itp. Wyniki prac przedstawiono w artykule [A4].

4. Oryginalnym moim pomysłem było zaproponowanie regulatorów rozmytych do sterowania układu mechanicznego w postaci giroskopowego układu skanującego

i śledzącego zamontowanego na wozie bojowym. Zaprojektowałem trzy rodzaje regulatorów: regulator rozmyty PD, regulator rozmyty PID oraz adaptacyjny regulator rozmyty. Porównałem zaprojektowane regulatory do klasycznego rozwiązania jakim jest regulator PD. Wyniki badań symulacyjnych wskazały lepsze działanie regulatorów rozmytych w zakresie skrócenia czasu poszukiwania celu jak i lepszych wskaźników jakości sterowania. Efekty prac opublikowano w [A8].

5. W monografii [A11] podjąłem problem usystematyzowania wiedzy na temat funkcji bezpieczeństwa układów pneumatycznych. Opisałem funkcje diagnostyczne układów sterowania. Dla każdego stanu maszyny zaprojektowałem i szczegółowo opisałem zasadę działania układu sterowania pneumatycznego, który spełnia określone funkcje bezpieczeństwa.

6. W trakcie pracy badawczej byłem autorem lub współautorem kilku ważnych rozwiązań technicznych. W artykule [A3] przedstawiłem koncepcję implementacji systemu czasu rzeczywistego do sterowania piezoaktuatorami dla aktywnego uszczelnienia czołowego. Zaprojektowałem układ sterowania dla piezoaktuatorów. W dotychczasowej literaturze nie przedstawiono podobnego rozwiązania. Jestem współautorem projektu zmierzającego do zaprojektowania i wykonania sztucznych mięśni pneumatycznych typu pęcherzowego oznaczonych symbolem PAM-20-330, w których wyeliminowano wady ujawnione w trakcie badań nad mięśniami dostępnymi na rynku. Jestem współautorem ulepszonej wersji manipulatora DELTA ze sztucznymi mięśniami pneumatycznymi, który był finansowany z programu TANGO nr TANGO1/270131/NCBR/2015. Manipulator jest przystosowany do rehabilitacji osób z dysfunkcją kończyn górnych po urazach ortopedycznych lub w wyniku urazów neurologicznych. Manipulator został wykonany przy współudziale partnera przemysłowego i jest w trakcie procedury testowania oraz wdrażania do zastosowań medycznych. Jestem również współautorem samodiagnostycznej pneumatycznej wyspy zaworowej zintegrowanej z komunikacją sieciową, która realizuje zadania IoT. Część projektu została zgłoszona do UPRP i uzyskała ochronę patentową nr PL 221414 pod nazwą „Zawór do sterowania napędów płynowych zwłaszcza pneumatycznych napędów siłownikowych oraz układ sterowania zaworami napędów płynowych”. Prototyp zaworu został wykonany przy współudziale partnera przemysłowego i jest gotowy do wdrożenia.

W moim przekonaniu, przedstawione wyniki badań wskazują, że tematyka poruszana w powyższym cyklu publikacji jest aktualna i ma duże znaczenie użytkowe. Ponadto mogą poszerzać wiedzę z zakresu sterowania, dynamiki i eksploatacji układów pneumatycznych. Opracowane oryginalne układy sterowania, układy pomiarowe, układy akwizycji danych, stanowiska eksperymentalne i metody badawcze są odpowiednie i skuteczne do sterowania pozycyjnego wybranymi napędami pneumatycznymi. Przyszłościowe prace będą ukierunkowane na rozwiązanie problemów ze sterowaniem innymi napędami pneumatycznymi takimi jak siłowniki

membranowe, silniki pneumatyczne i napędy elastyczne oraz opracowaniem adaptacyjnych regulatorów rozmytych, regulatorów niecałkowitego rzędu, regulatorów z wykorzystaniem pozostałych metod miękkiego obliczania.

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. Błasiak, S., Takosoglu, J. E., Łaski, P. A.: *Heat transfer and thermal deformations in noncontacting face seals*, Journal of Thermal Science and Technology 9(2) (2014), JTST0011 - JTST0011.

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. Krzysztofik I., Takosoglu J., Koruba Z.: *Comparative analysis of the methods of controlling the gyroscope-stabilized platform for searching and observing air targets*, rozdział w monografii: **Dynamical systems – Control and Stability** (eds. Awrejcewicz J., Kaźmierczak M., Olejnik P., Mrozowski J.), strony: 351-360, Department of Automation, Biomechanics and Mechatronics, Łódź 2015.

2. Pietrala D., Bracha G., Łaski P., Takosoglu J., Błasiak S.: *Design of camera positioning device based on spherical manipulator applied to mobile unmanned objects*, rozdział w monografii: **Scientific Aspects of Unmanned Mobile Objects**, strony: 108-123, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2014.

3. Grzyb M., Takosoglu J.: *Fuzzy control of the flight of an air-to-ground missile*, rozdział w monografii: **Scientific Aspects of Unmanned Mobile Objects**, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2014.

4. Krzysztofik I., Koruba Z., Takosoglu J.: *An analysis of the dynamics of the gyroscopic-tracking system with fuzzy controller*, rozdział w monografii: **Dynamical Systems – Theory** (eds. Awrejcewicz J., Kaźmierczak M., Olejnik P., Mrozowski J.), strony: 215-224, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2013.

5. Błasiak S., Łaski P., Takosoglu J.: *Badania symulacyjne półaktywnych uszczelnień bezstykowych*, rozdział w monografii: **Postępy automatyki i robotyki – część 1** (pod red. Malinowski K., Dindorf R.), Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk, strony: 139-146, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2011.

6. Woś P., Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J.: *Modelowanie i projektowanie elektrohydraulicznego układu napędowego*, rozdział w monografii: **Postępy automatyki i robotyki – część 2** (pod red. Malinowski K., Dindorf R.), Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk, strony: 313-323, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2011.

7. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J., Woś P.: *Modelowanie układu regulacji serwonapędu elektrohydraulicznego*, rozdział w monografii: **Postępy automatyki i robotyki – część 2** (pod red. Malinowski K., Dindorf R.), Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk, strony: 52-66, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2011.

8. Łaski P., Błasiak S., Dindorf R., Takosoglu J., Woś P.: *Projekt i konstrukcja manipulatora o zamkniętym łańcuchu kinematycznym z napędem mięśniowym typu DELTA*, rozdział w monografii:

Postępy Automatyki i Robotyki – część 2 (pod red. Malinowski K., Dindorf R.), Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk, strony: 492-499, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2011.

9. Takosoglu J., Błasiak S., Dindorf R., Łaski P., Woś P.: **Projekt układu sterowania trzysosiowego szeregowego manipulatora elektropneumatycznego**, rozdział w monografii: **Postępy automatyki i robotyki – część 2** (pod red. Malinowski K., Dindorf R.), Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk, strony: 544-557, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2011.

10. Łaski P., Błasiak S., Dindorf R., Takosoglu J., Woś P.: **Projekt układu sterowania z logiką rozmytą dla trzysosiowego manipulatora o kinematyce równoległej typu TRIPOD**, rozdział w monografii: **Postępy automatyki i robotyki – część 2** (pod red. Malinowski K., Dindorf R.), Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk, strony: 500-514, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2011.

11. Takosoglu J.: **Mięśniowy układ napędowy manipulatora równoległego typu DELTA**, rozdział w monografii: **Postępy automatyki i robotyki – część 2** (pod red. Malinowski K., Dindorf R.), Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk, strony: 558-567, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2011.

12. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J.: **A review of biomimetic actuators applications to flapping-wings micro aerial vehicles**, rozdział w monografii: **Scientific Aspects of Unmanned Mobile Vehicle**, strony: 35-55, Polish Society of Theoretical and Applied Mechanics, Kielce 2010.

13. Takosoglu J., Dindorf R., Łaski P.: **Fuzzy logic positioning system of electro-pneumatic servo-drive**, rozdział w monografii: **Robot Manipulators, Trends and Development** (eds. Jimenez A., Al Hadithi B. M.), strony: 297-320, In-Tech, Vukovar, Croatia 2010

14. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J.: **The conceptional project of application of biomimetic actuators to flapping-wings of micro aerial vehicles**, rozdział w monografii: **Scientific Aspects of Unmanned Mobile Vehicle**, strony: 57-71, Polish Society of Theoretical and Applied Mechanics, Kielce 2010.

15. Takosoglu J., Dindorf R., Łaski P.: **Pneumatronic positioning system of electro-pneumatic servo-drive**, rozdział w monografii: **Transfer of innovation to the interdisciplinary teaching of mechatronics for the advanced technology needs** (eds. Macha E., Robak G.), strony: 323-334, 2009.

16. Łaski P., Dindorf R., Takosoglu J.: **Virtual project of parallel manipulator with pneumatic muscle actuators**, rozdział w monografii: **Transfer of innovation to the interdisciplinary teaching of mechatronics for the advanced technology needs** (eds. Macha E., Robak G.), strony: 209-216, 2009.

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

1. Takosoglu J., Łaski P., Błasiak S., Bracha G., Pietrala D., Zwierzchowski J., Nowakowski L.: **Determination of flow-rate characteristics and parameters of piezo pilot valves**, in: Proc. 11nd International Conference on Experimental Fluid Mechanics 2016 (ed. Dancova P.), Volume: 143 (2017), Pages 814-818, Article number: UNSP 02126.

2. Błasiak S., Takosoglu J., Łaski P., Pietrala D., Zwierzchowski J., Bracha G., Nowakowski L., Błasiak M.: **Experimental and simulation flow rate analysis of the 3/2 directional pneumatic valve**, in: Proc. 11nd International Conference on Experimental Fluid Mechanics 2016 (ed. Dancova P.), Volume: 143 (2017), Pages 94-97, Article number: UNSP 02008.

3. Zwierzchowski J., Łaski P., Błasiak S., Takosoglu J., Pietrala D., Bracha G., Nowakowski L.: **Model tests of wind turbine with a vertical axis of rotation type Lenz 2**, in: Proc. 11nd International Conference on Experimental Fluid Mechanics 2016 (ed. Dancova P.), Volume: 143 (2017), Pages 989-995, Article number: UNSP 02150.

4. Łaski P., Błasiak S., Takosoglu J., Pietrala D., Bracha G., Zwierzchowski J., Nowakowski L., Borkowski K., Błasiak M.: **Study of the effect of temperature on the positioning accuracy of the**

pneumatic muscles, in: Proc. 11nd International Conference on Experimental Fluid Mechanics 2016 (ed. Dancova P.), Volume: 143 (2017), Pages 989-995, Article number: UNSP 02065.

5. Łaski P. A., Takosoglu J. E., Błasiak S.: *A delta type closed kinematics chain with pneumatic muscle actuator manipulator*, in: Proc. 20th International Conference on Engineering Mechanics 2014 (ed. Fuis V.), Pages: 360-363, Czech Republic 2014.

6. Takosoglu J. E., Łaski P. A., Błasiak S.: *Innovative modular pneumatic valve terminal with self-diagnosis, control and network communications*, in: Proc. 20th International Conference on Engineering Mechanics 2014 (ed. Fuis V.), Pages: 644-647, Czech Republic 2014.

7. Błasiak S., Takosoglu J., Łaski P.: *Optimizing the flow rate in a pneumatic directional control valve*, in: Proc. 20th International Conference on Engineering Mechanics 2014 (ed. Fuis V.), Pages: 96-99, Czech Republic 2014.

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

1. Ptashnyk V., Bordun I., Pohrebennyk V., Takosoglu J., Sadova M.: *Impedance investigation of activated carbon material modified by ultrasound treatment*, Przegląd Elektrotechniczny 94(5), Strony 186-189, 2018.

2. Łaski P., Takosoglu J., Błasiak S.: *Manipulator o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu Delta z pneumatycznym napędem mięśniowym*, Pneumatyka Przemysłowe Systemy Sprężonego Powietrza, Tom: 4(85), Strony: 35-41, 2012.

3. Takosoglu J., Łaski P.: *Układ sterowania manipulatora typu Delta z pneumatycznymi napędami mięśniowymi*, Pneumatyka Przemysłowe Systemy Sprężonego Powietrza, Tom: 4(85), Strony: 19-23, 2012.

4. Woś P., Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J.: *Koncepcja sterowania elektrohydraulicznym manipulatorem typu tricept*, Hydraulika i Pneumatyka, Zeszyt: 1, Strony: 9-13, 2011.

5. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J., Woś P.: *Rozproszony system sterowania czasu rzeczywistego do serwonapędów płynowych*, Czasopismo Techniczne. Mechanika, Tom: 4-M/2011/A, Zeszyt 7, Strony: 43-48, 2011.

6. Takosoglu J., Dindorf R., Łaski P.: *Mechanizmy napędowe z mięśniami pneumatycznymi w automatyzacji produkcji*, Pneumatyka Przemysłowe Systemy Sprężonego Powietrza, Tom 2(75), Strony: 29-33, 2010.

7. Takosoglu J., Dindorf R., Łaski P., Woś P.: *Pozycjonowanie serwonapędu elektropneumatycznego z bezpośrednim pomiarem przemieszczenia i prędkości tłoka siłownika*, Acta Mechanica et Automatica, Tom: 4, Zeszyt: 1, Strony: 86-91, 2010.

8. Łaski P., Dindorf R., Takosoglu J.: *Projekt manipulatora równoległego typu Delta z pneumatycznymi aktuatorami mięśniowymi*, Pneumatyka Przemysłowe Systemy Sprężonego Powietrza, Tom 3(76), Strony: 28-31, 2010.

9. Łaski P., Dindorf R., Takosoglu J., Woś P.: *Projekt manipulatora równoległego typu Delta z pneumatycznymi aktuatorami mięśniowymi*, Acta Mechanica et Automatica, Tom: 4, Zeszyt: 1, Strony: 61-65, 2010.

10. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J.: *Projekty badawcze realizowane w Zakładzie Mechatroniki*, Hydraulika i Pneumatyka, Zeszyt: 3, Strony: 29-33, 2010.

11. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu P.: *Rozwój konstrukcji i sterowania pneumatycznego manipulatora równoległego typu tripod*, Acta Mechanica et Automatica, Tom: 4, Strony: 31-35, 2010.

12. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J., Woś P.: *Rozproszony system sterowania serwonapędów płynowych*, Hydraulika i Pneumatyka, Zeszyt: 4, Strony: 15-20, 2009.

13. Dindorf R., Takosoglu J.: *Teaching-playback control of electro-pneumatic servo-drive*, Mechanics, Tom: 28, Zeszyt: 1, Strony: 1-6, 2009.

14. Łaski P., Dindorf R., Takosoglu J.: *Model bryłowy manipulatora równoległego typu 3RRR z pneumatycznymi aktuatorami mięśniowymi*, Pneumatyka Przemysłowe Systemy Sprężonego Powietrza, Tom 3(68), Strony: 7-10, 2008.

15. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu P.: *Pomiar przecieków powietrza w instalacji pneumatycznej przy wykorzystaniu dysz wzorcowych*, Pneumatyka Przemysłowe Systemy Sprężonego Powietrza, Tom 1(66), Strony: 12-15, 2008.

16. Takosoglu J., Dindorf R., Łaski P.: *Sterowanie pneumatycznego układu napędowego z dwoma aktuatorami mięśniowymi*, Pneumatyka Przemysłowe Systemy Sprężonego Powietrza, Tom 1(66), Strony: 42-44, 2008.

d) publikacje w materiałach konferencyjnych

1. Krzysztofik I., Takosoglu J., Koruba Z.: *Comparative analysis of the methods of controlling the gyroscope-stabilized platform for searching and observing air targets*, 13th International Conference Dynamical Systems Theory and Applications, pp. 179-179, 2015.

2. Takosoglu, J., Błasiak, S., Dindorf, R., Łaski, P.: *Projekt i budowa trzyosiowego manipulatora elektropneumatycznego układzie kartezyjskim*: Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej 17 (2012), pp. 167–175.

3. Pietrala, 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.

4. Takosoglu, J., Łaski, P., Błasiak, S., Bracha, G., Pietrala, 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.

5. 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.

6. Takosoglu, J., Błasiak, S., Łaski, P.: *Pozycjonowanie serwonapędów pneumatycznych*: IX Konferencja - Nowe kierunki rozwoju mechaniki, PTMTS (2011), pp. 64–65.

7. 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.

8. 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.

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. 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.
15. 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.
16. 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'2011 (2011), pp. 209–210.
17. Błasiak, S., Łaski, P., Takosoglu, J.: ***Półaktywne uszczelnienia bezstykowe – badania symulacyjne***: Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej 17 (2011), pp. 19–27.
18. 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.
19. 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.
20. Błasiak, S., Łaski, P., Takosoglu, J.: ***Badania symulacyjne półaktywnych uszczelnień bezstykowych***: XVII Krajowa Konferencja Automatyki KKA'2011 (2011), pp. 61–62.

e) Udzielone patenty międzynarodowe i krajowe:

1. Sławomir Błasiak, Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, 2017 (zgłoszenie 2015), PL 227791, ***Mechaniczne uszczelnienie czołowe***. Polska, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
2. Sławomir Błasiak, Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, Józef Barycki, 2016 (zgłoszenie 2014), PL 224821, ***Pneumatyczny zawór rozdzielający***. Polska, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
3. Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, Sławomir Błasiak, 2016 (zgłoszenie 2012), PL 223042, ***Urządzenie do badań, zwłaszcza dynamicznych, pneumatycznych napędów mięśniowych***. Polska, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
4. Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, Sławomir Błasiak, 2016 (zgłoszenie 2012), PL 224218, ***Właz kanałowy, zwłaszcza studzienki kanalizacyjnej***. Polska, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
5. Jakub Takosoglu, Paweł Łaski, Sławomir Błasiak, Gabriel Bracha, Dawid Pietrala, Józef Barycki, 2015 (zgłoszenie 2013), PL 221414, ***Zawór do sterowania napędów płynowych zwłaszcza pneumatycznych napędów siłownikowych oraz układ sterowania zaworami napędów płynowych***. Polska, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
6. Sławomir Błasiak, Jerzy Bochnia, Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, 2014 (zgłoszenie 2012), PL 220034, ***Mechaniczne uszczelnienie obrotowe***. Polska, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
7. Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, Ilona Grzegorzczuk, Sławomir Błasiak, 2012 (zgłoszenie

2011), PL 213839, *Manipulator równoległy trójramienny o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu Delta o trzech stopniach swobody*. Polska, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

8. Paweł Łaski, Jakub Takosoglu, Sławomir Błasiak, 2012 (zgłoszenie 2011), PL 213836, *Pneumatyczny, proporcjonalny zawór rozdzielający*. Polska, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

f) tabela zbiorcza publikacji po uzyskaniu stopnia doktora

Rodzaj artykułu/autorstwo	Indywidualne	Współautorstwo
Artykuły z listy A	-	7
Artykuły z listy B	-	16
Materiały z konferencji międzynarodowej (zarejestrowane w Web of Science)	3	8
Artykuły w czasopiśmie spoza listy A i B	-	57
Monografie	-	2
Rozdziały w monografiach	1	15
Razem	4	105

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

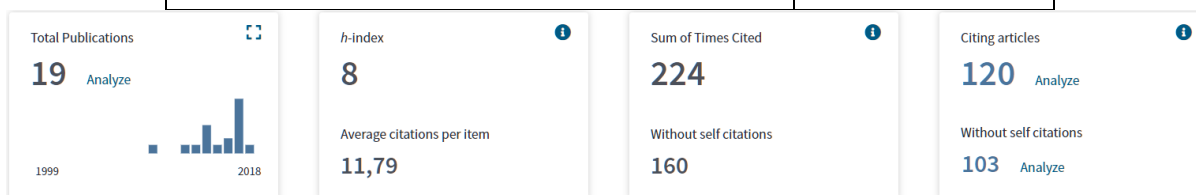
Autor/Autorzy	Artykuł	Rok	Liczba punktów	IF	IF-5Y
Takosoglu J. E., Dindorf R. F., Łaski P. A.	<i>Rapid prototyping of fuzzy controller pneumatic servo-system</i> , International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume: 40, Issue: 3-4	2009	15	1,128	1,313
Takosoglu J. E., Łaski P. A., Błasiak S.	<i>A fuzzy logic controller for the positioning control of an electro-pneumatic servo-drive</i> , Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part I-Journal of Systems and Control Engineering, Volume: 226, Issue: 10	2012	15	0,667	0,800
Błasiak S., Łaski P. A., Takosoglu J. E.	<i>Parametric analysis of heat transfer in noncontacting face seals</i> , International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume: 57, Issue: 1	2013	40	2,522	2,868
Łaski P. A., Takosoglu J. E., Błasiak S.	<i>Design of a 3-DOF tripod electro-pneumatic parallel manipulator</i> , Robotics and Autonomous Systems, Volume: 72	2015	25	1,618	1,659
Takosoglu J. E., Łaski P. A., Błasiak S., Bracha G., Pietrala D.	<i>Determining the static characteristics of pneumatic muscles</i> , Measurement and Control, Volume: 49, Issue: 2	2016	15	0,772	0,728
Krzysztofik I., Takosoglu J., Koruba Z.	<i>Selected methods of control of the scanning and tracking gyroscope system mounted on a combat vehicle</i> , Annual Reviews in Control, Volume: 44	2016	40	2,627	4,570
Błasiak S., Takosoglu J. E., Łaski P. A.	<i>Heat transfer and thermal deformations in noncontacting face seals</i> , Journal of Thermal Science and Technology, 9(2) (2014)	2014	15	0,536	0,443
SUMA:			165	9,870	12,381

Sumaryczny impact factor publikacji zgodnie z rokiem wydania wynosi **9,870**.

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

- a) liczba cytowań prac w bazie Web of Science, **całkowita liczba cytowań: 224, liczba cytowań bez autocytowań: 160.**
- b) Indeks Hirscha publikacji: **h-index=8.**
- c) raport cytowań na podstawie danych ze strony internetowej <http://apps.webofknowledge.com/>

Results found:	19
Sum of the Times Cited:	224
Sum of Times Cited without selfcitations:	160
Citing Articles:	120
Citing Articles without selfcitations:	103
Average Citations per Item:	11,79
h-index:	8



Rys. 1. Statystyki w portalu Web of Science (28 luty 2019)

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. *Badania modelowe, symulacyjne i doświadczalne manipulatorów równoległych typu tripod z serwowpneumatycznymi członami napędowymi.* Projekt badawczy własny finansowany z MNiSW nr N502 030 32/2350. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2007-2009 (**członek B+R**).

2. *Projekt i badania symulacyjne i doświadczalne manipulatora o kinematyce równoległej typu delta z pneumatycznymi napędami mięśniowymi.* Projekt badawczy własny finansowany z MNiSW nr N514 217038, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2010-2012 (**członek B+R**).

3. *Projekt oraz badania symulacyjne i eksperymentalne samodiagnostycznej pneumatycznej wyspy zaworowej zintegrowanej z programowalnym sterowaniem i komunikacją sieciową.* Projekt naukowo-badawczy realizowany w ramach projektu „Perspektywy RSI Świętokrzyskie – IV etap”, Zadanie 5 – Kreowanie nowych form współpracy nauki z biznesem, pozycja nr 110 - Prace naukowo-badawcze pod kątem rozwoju branż regionu, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2014 (**kierownik**).

4. *Projekt, badania symulacyjne i eksperymentalne równoległego manipulatora typu delta z sztucznymi mięśniami pneumatycznymi.* Program TANGO nr TANGO1/270131/NCBR/2015 (wspólne przedsięwzięcie NCN i NCBR). Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2015-2018 (**członek B+R**).

5. *Demonstracja technologii kucia swobodnego wielkogabarytowych odkuwek trudno odkształcalnych z zastosowaniem innowacyjnego energooszczędnego układu zasilania i*

inteligentnego sterowania prasami hydraulicznymi w czasie rzeczywistym. Program Operacyjny Inteligentny Rozwój, Poddziałanie nr 1.1.2 „Prace B+R związane z wytworzeniem instalacji pilotażowej/demonstracyjnej” POIR.01.01.02-00-0163/16, Celsa Huta Ostrowiec 2017-2019 (podwykonawca).

6. *Opracowanie i demonstracja zrobotyzowanego systemu murarsko-tynkarskiego (ZSMT) do zastosowania w przemyśle budowlanym*. Program Operacyjny Inteligentny Rozwój, Poddziałanie nr 4.1.2 „Regionalne agendy naukowo-badawcze” POIR.04.01.02-00-0045/18, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2018-2020 (członek B+R).

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, especially 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, especially 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. Najlepszy Wynalazek Międzynarodowy od Krajowej Rady ds. Badań Naukowych Tajlandii na 42 Międzynarodowej Wystawie Wynalazków w Genewie za *„Manipulator równoległy trójramienny o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu Delta, o trzech stopniach swobody”* 2014 – współautor projektu.

7. Złoty medal z wyróżnieniem International 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, International Warsaw Invention Show 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. Chęciny 5-7 wrzesień 2014 – współautor projektu.

11. V miejsce na prestiżowych zawodach łazików marsjańskich ERC 2015 European Rover Challenge, Podzamcze k. Chęciny 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 International Warsaw Invention Show 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. Blasiak, 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. Medal IV Targów Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2011, Targi Kielce 2011 za **“System pozycjonowania serwopneumatycznego ze sterowaniem rozmytym”** – współautor projektu.

2. Medal V Targów Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2012, Targi Kielce 2012 za **“Manipulator typu delta z pneumatycznymi napędami mięśniowymi”** – współautor projektu.

3. 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.

4. Nagroda IV edycji Konkursu Świętokrzyski Racjonalizator Urzędu Marszałkowskiego, Kielce 2012 za **“Pneumatyczny, proporcjonalny zawór rozdzielający”** – współautor projektu.

5. Medal VI Targów Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2013, Targi Kielce 2013 za **“Samodiagnostującą pneumatyczną wyspę zaworową zintegrowaną z komunikacją siecią”** – współautor projektu.

6. Nagroda V edycji Konkursu Świętokrzyski Racjonalizator Urzędu Marszałkowskiego, Kielce 2013 za **“Właz kanałowy, zwłaszcza studzienki kanalizacyjnej”** – współautor projektu.

7. Nagroda NOVATOR 2013 w kategorii współpraca nauka - przemysł za projekt **“Zawór do sterowania napędów płynowych zwłaszcza pneumatycznych napędów siłownikowych oraz układ sterowania zaworami napędów płynowych”**, Staropolska Izba Przemysłowo-Handlowa, Ósma Edycja Konkursu – współautor projektu.

8. Dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za **„Manipulator równoległy trójramienny o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu Delta, o trzech stopniach swobody”**, Warszawa 2013 – współautor projektu – współautor projektu.

9. Medal VII Targów Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2014, Targi Kielce 2014 za **„Pneumatyczny zawór rozdzielający”**, –współautor projektu.

10. Nagroda IV edycji w Ogólnopolskim Konkursie Student-Wynalazca 2014 za **„Manipulator równoległy trójramienny o zamkniętym łańcuchu kinematycznym typu Delta, o trzech stopniach swobody”** – 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. Dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego 2014 za **„Zawór do sterowania napędów płynowych zwłaszcza pneumatycznych napędów siłownikowych oraz układów sterowania zaworami napędów płynowych”** – 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 – współautor projektu.

14. Nagroda NOVATOR 2016 w kategorii współpraca nauka - przemysł za projekt **„Pneumatyczny**

zawór rozdzielający”, Staropolska Izba Przemysłowo-Handlowa, Jedenasta Edycja Konkursu – współautor projektu.

15. Dyplom Rektora Politechniki Świętokrzyskiej za współautorstwo wynalazku nagrodzonego w Ogólnopolskim Konkursie Student-Wynalazca 2016 za „*Mięsień pneumatyczny*” – współautor projektu.

16. Nagroda główna w konkursie Świętokrzyski Racjonalizator Urzędu Marszałkowskiego za „*Właz kanałowy, zwłaszcza studzienki kanalizacyjnej*”, Kielce 2017 – współautor projektu.

c. Inne nagrody

1. 2008 – Zespołowa Nagroda Rektora I stopnia za uzyskanie stopnia naukowego doktora.
2. 2009 – Zespołowa Nagroda Rektora III stopnia za osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne kierunku studiów Inżynieria Bezpieczeństwa oraz rozwój bazy laboratoryjnej.
3. 2010 – Zespołowa Nagroda Rektora II stopnia za publikacje w znaczących czasopismach.
4. 2011 – Zespołowa Nagroda Rektora III stopnia za działalność dydaktyczną i organizacyjną na rzecz Wydziału.
5. 2014 – Zespołowa Nagroda Rektora III stopnia za aktywną działalność w zakresie ubiegania się o środki finansowe w ramach konkursów Narodowego Centrum badań i Rozwoju i Narodowego Centrum Nauki.
6. 2016 – Zespołowa Nagroda Rektora I stopnia za zdobycie II miejsca w konkursie European Rover Challenge we wrześniu 2016 roku w Rzeszowie.
7. 2018 – Medal Komisji Edukacji Narodowej, legitymacja nr 164564.
8. 2018 – Zespołowa Nagroda Rektora II stopnia za działalność naukową i organizacyjną.

5.7. Wygłaszanie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych

a) wygłaszanie referatów na konferencjach międzynarodowych:

1. Takosoglu J., Dindorf R., Łaski P., 2009, *Pneumatic positioning system of electro-pneumatic servo-drive*. First International Summer School of Mechatronic Systems UPTRONIC 2009, Wisła, Polska.
2. Takosoglu J., Łaski P., Błasiak S., Bracha G., Pietrala D., Zwierzchowski J., Nowakowski Ł., 2016, *Determination of flow-rate characteristics and parameters of piezo pilot valves*. International Conference Experimental Fluid Mechanics 2016, Mariánské Lázně, Czech Republic.
3. Takosoglu J., 2016, *Experimental research of flow servo-valve*. International Conference Experimental Fluid Mechanics 2016, Mariánské Lázně, Czech Republic.
4. Takosoglu J., Dindorf R., 2007, *Positioning and teaching/play-back fuzzy control of electro-pneumatic servo-drive in real time*. 7th European Conference of Young Research and Science Workers in Transport and Telecommunications TRANSCOM 2007, University of Zilina, Slovak Republic.
5. Takosoglu J., Dindorf R., 2007, *Positioning control and teaching/play-back control of electro-pneumatic servo-drive*, 11th International Scientific Seminar On Developments In Machinery Design And Control, Červený Kláštor, Slovak Republic.
6. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J., 2008, *The influence of pneumatic muscle volume upon the number of its working cycles*, 12th International Scientific Seminar On Developments In

Machinery Design And Control, Nowogród, Polska.

7. Takosoglu J., Dindorf R., Łaski P., 2010, ***Determination of flow-rate parameters of pneumatic valves***, 13th International Scientific Seminar On Developments In Machinery Design And Control, Gliczarów, Polska.

8. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J., 2010, ***The conceptional project of application of biomimetic actuators to flapping-wings of micro aerial vehicle***. 4th International Conference On Scientific Aspects Of Unmanned Aerial Vehicle, Suchedniów, Polska.

9. Takosoglu J., Łaski P., Błasiak S., Pietrala D., Bracha G., Sławski S., Życinski E., 2013, ***Mobile robot with a caterpillar drive system***. 5th International Conference On Scientific Aspects Of Unmanned Mobile Object, Dęblin, Polska.

10. Takosoglu J., Łaski P., Błasiak S., 2014, ***Innovative modular pneumatic valve terminal with self-diagnosis, control and network communications***. 20th International Conference ENGINEERING MECHANICS 2014 Svatka, Czech Republic.

11. Takosoglu J., Łaski P., Błasiak S., 2014, ***Design of modular pneumatic valve terminal***. The International Conference Mechatronic Systems 2014, Ostrava, Czech Republic.

12. Takosoglu J., 2016, ***Control system of delta manipulator with pneumatic artificial muscles***. 22th International Conference ENGINEERING MECHANICS 2016 Svatka, Czech Republic.

13. Takosoglu J., 2017, ***Dynamic characteristics of pneumatic artificial muscles***. 23rd International Conference ENGINEERING MECHANICS 2017 Svatka, Czech Republic.

14. Takosoglu J., 2018, ***Angular position control system of pneumatic artificial muscles***. Napędy i Sterowania Hydrauliczne i Pneumatyczne 2018, Kliczków, Polska.

15. Takosoglu J., 2016, ***Analysis of the possibility of using high-speed pneumatic directional valves to regulate the flow of compressed air***. International Conference Experimental Fluid Mechanics 2018, Prague, Czech Republic.

b) wygłaszanie referatów na konferencjach krajowych:

1. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J., 2007, ***Sterowanie muskułu pneumatycznego typu MAS***. III Konferencja TEROTECHNOLOGIA 2007 na ekspozycji METAL i CONTROL-TECH, XIII Międzynarodowe Targi Technologii dla Odlewnictwa, Kielce, Polska.

2. Takosoglu J., Dindorf R., 2008, ***Sterowanie ramieniem robota bionicznego z aktuatorami mięśniowymi***, Seminarium, I Targi Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2008, Kielce, Polska.

3. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J., 2008, ***Badania eksperymentalne muskułu pneumatycznego typu pęcherzowego***. IV Konferencja TEROTECHNOLOGIA 2008 na ekspozycji METAL i CONTROL-TECH, XIV Międzynarodowe Targi Technologii dla Odlewnictwa, Kielce, Polska.

4. Takosoglu J., Dindorf R., Łaski P., 2008, ***Sterowanie pneumatycznego układu napędowego z dwoma aktuatorami mięśniowym***, XVI Krajowa Konferencja PNEUMA 2008, Hołny Mejera, Polska.

5. Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J., 2008, ***Pomiar przecieków powietrza w instalacji pneumatycznej przy wykorzystaniu dysz wzorcowych***, XVI Krajowa Konferencja PNEUMA 2008, Hołny Mejera, Polska.

6. Łaski P., Dindorf R., Takosoglu J., 2008, *Wirtualne prototypowanie manipulatora równoległego z pneumatycznymi aktuatorami mięśniowym*, XVI Krajowa Konferencja PNEUMA 2008, Hołny Mejera, Polska.
7. Takosoglu J., Dindorf R., Łaski P., 2009, *Wpływ pomiaru przemieszczenia i prędkości tłoka siłownika na dokładność pozycjonowania serwonapędu elektropneumatycznego*. V Konferencja TEROTECHNOLOGIA 2009 na ekspozycji METAL i CONTROL-TECH, XV Międzynarodowe Targi Technologii dla Odlewnictwa, Kielce, Polska.
8. Takosoglu J., Dindorf R., Łaski P., 2010, *Mechanizmy napędowe z mięśniami pneumatycznymi w automatyzacji produkcji*. XXII Ogólnopolska Konferencja Naukowo – Dydaktyczna Teorii Maszyn i Mechanizmów, Augustów, Polska.
9. Takosoglu J., Błasiak S., Dindorf R., Łaski P., 2011, *Projekt i budowa trzysiosego manipulatora elektropneumatycznego w układzie kartezyjskim*. VII Konferencja TEROTECHNOLOGIA 2011 na ekspozycji METAL i CONTROL-TECH, XV Międzynarodowe Targi Technologii dla Odlewnictwa, Kielce, Polska.
10. Takosoglu J., Błasiak S., Łaski P., 2011, *Pozycjonowanie serwonapędów pneumatycznych*. IX Konferencja Nowe Kierunki Rozwoju Mechaniki NKRM 2011, Hucisko, Polska.
11. Takosoglu J., Łaski P., 2011, *Elektropneumatyczne układy sterowania*. Seminarium, IV Targi Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2011, Kielce, Polska.
12. Takosoglu J., Błasiak S., Dindorf R., Łaski P., Woś P., 2011, *Projekt układu sterowania trzysiosego szeregowego manipulatora elektropneumatycznego*. XVII Krajowa Konferencja Automatyki – KKA'2011, Kielce-Cedzyna, Polska.
13. Takosoglu J., Błasiak S., Dindorf R., Łaski P., 2011, *Mięśniowy układ napędowy manipulatora równoległego typu DELTA*. XVII Krajowa Konferencja Automatyki – KKA'2011, Kielce-Cedzyna, Polska.
14. Takosoglu J., 2011, *Szybkie prototypowanie sterowania rozmytego serwonapędu elektropneumatycznego w systemie czasu rzeczywistego xPC Target*. XVII Krajowa Konferencja Automatyki – KKA'2011, Kielce-Cedzyna, Polska.
15. Łaski P., Takosoglu J., 2012, *Manipulator typu delta z pneumatycznymi napędami mięśniowymi*. Seminarium, V Targi Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2012, Kielce, Polska.
16. Takosoglu J., 2013, *Układ sterowania manipulatora równoległego typu delta z pneumatycznymi napędami mięśniowymi*. Seminarium, VI Targi Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2013, Kielce, Polska.
17. Takosoglu J., Łaski P., Błasiak S., Bracha G., Pietrała D., Barycki J., 2014, *Innowacyjna modułowa pneumatyczna wyspa zaworowa z samodiagnostyką, sterowaniem i komunikacją sieciową*. Seminarium, VII Targi Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2014, Kielce, Polska.
18. Takosoglu J., 2016, *Dwumięśniowy układ napędowy*. Seminarium, IX Targi Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2016, Kielce, Polska.
19. Takosoglu J., 2017, *Wyznaczanie charakterystyk i parametrów przepływowych piezo pilotów zaworów pneumatycznych*. Seminarium, X Targi Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNEUMATICON 2017, Kielce, Polska.

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

1. Projekt MOLAB – „*Rozwój bazy badawczej specjalistycznych laboratoriów uczelni publicznych regionu świętokrzyskiego*” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Oś Priorytetowa 2: „Infrastruktura sfery B+R”, Działanie 2.2.: „Wsparcie tworzenia wspólnej infrastruktury badawczej jednostek naukowych”. Wsparciem objęte zostało Laboratorium Mechatroniki, Automatyki i Robotyki – Pracownia Mechatroniki. Mój udział polegał na przygotowaniu laboratoriów, przygotowaniu planu zakupów aparatury, przygotowaniu procedur przetargowych, odpowiedzialność za wskaźniki rezultatu. Jestem kierownikiem tego laboratorium.

2. Program Operacyjny Kapitał Ludzki Priorytet IX, Działanie 9.2 Projekt „**Zagwarantowany sukces z Politechniką Świętokrzyską w Kielcach**”, prowadzenie zajęć dydaktyczno-wyrównawczych z fizyki, 02.01.2014-31.08.2014.

3. Program Operacyjny Kapitał Ludzki Priorytet VIII, Działanie 8.2 Transfer Wiedzy, Poddziałanie 8.2.2 Regionalne strategie innowacji, opieka merytoryczna nad praktykami przemysłowymi 5 studentów, 23.02.2015-22.05.2015.

4. Program Operacyjny Kapitał Ludzki Priorytet IV, Działanie 4.1, Poddziałanie 4.1.1, prowadzenie zajęć dydaktycznych na kierunku Inżynieria Bezpieczeństwa, 01.10.2011-30.09.2012.

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

1. Członek Komitetu Organizacyjnego **4th International Conference On Scientific Aspects Of Unmanned Aerial Vehicle**, 5-7.05.2010 Suchedniów.

2. Sekretarz Komitetu Organizacyjnego **XVII Krajowej Konferencji Automatyki - KKA'2011**, 19-22.06.2011 Kielce-Cedzyna.

3. Członek Komitetu Organizacyjnego **5th International Conference On Scientific Aspects Of Unmanned Mobile Object**, 15-17.05.2013 Dęblin.

4. Członek Komitetu Naukowego **Międzynarodowej Konferencji PNEUMA 2010, 2012, 2013, 2015**.

5.10. Udział w konsorcjach i sieciach badawczych

Brak

5.11. Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

1. Członek Komitetu Redakcyjnego monografii: **Scientific Aspects of Unmanned Mobile Vehicle**, edited scientific by Zbigniew Koruba, Polish Society of Theoretical and Applied Mechanics Section of Kielce, Kielce 2010, pages 605.

2. Członek Komitetu Redakcyjnego monografii: **Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn. Jubileusz 50-lecia Uczelni 1965-2015**, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2015.

5.12. Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych

1. Członek Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej (przewodniczący komisji rewizyjnej Oddziału Kieleckiego).

2. Przewodniczący Komitetu Technicznego nr 208 ds. Napędów i Sterowań Pneumatycznych przy Polskim Komitecie Normalizacyjnym PKN.

3. Członek Rady Sektorowej Sektora Maszyn i Inżynierii.

5.13. Osiągnięcia dydaktyczne w zakresie popularyzacji nauki

1. Opieka merytoryczna nad stażystą Karolem Surmą z przedsiębiorstwa Ośrodek Badawczo Rozwojowy Elementów i Układów Pneumatyki Sp. z o.o. 15.01.2014-14.07.2014. Temat stażu: **„Projekt, modelowanie i badania przepływowe MES pierwszej polskiej modułowej wyspy zaworowej”**.

2. Prowadzenie zajęć z przedmiotów kierunkowych i specjalnościowych, na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych na kierunkach: automatyka i robotyka, mechanika i budowa maszyn i inżynieria bezpieczeństwa:

- Podstawy automatyki,
- Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne,
- Metody sztucznej inteligencji w układach sterowania,
- Pneumatyczne układy i urządzenia automatyki,
- Symulacja i wizualizacja komputerowa,
- Płynowe elementy automatyki,
- Dynamika i optymalizacja układów,
- Sterowniki programowalne,
- Podstawy mechatroniki,
- Inteligentne metody sterowania maszyn i urządzeń,
- Sterowniki programowalne w automatyzacji produkcji,
- Fizyka,
- Szybkie prototypowanie w systemach czasu rzeczywistego,
- Projektowanie maszyn i urządzeń,
- Automatyzacja i robotyzacja produkcji,
- Eksploatacja napędów płynowych,
- Napędy maszyn i urządzeń,
- Układy pomiarowe automatyki,
- Układy sterowania napędów płynowych,
- Podstawy automatyzacji procesów,
- Urządzenia płynowe w maszynach technologicznych,
- Sterowniki programowalne w systemach sterowania urządzeń płynowych,
- Bezpieczne systemy sterowania maszyn.

Zajęcia dydaktyczne obejmują wykłady, ćwiczenia tablicowe oraz laboratoria. Do zajęć laboratoryjnych opracowałem instrukcje. Zaprojektowałem i zbudowałem kilkanaście stanowisk laboratoryjnych. W sposób ciągły doposażam laboratoria w nowy sprzęt dydaktyczny i do badań naukowych.

3. Prowadzenie zajęć dydaktycznych w ramach programu Erasmus+.

4. Prowadzenie zajęć dydaktycznych z przedmiotu Physics (wykład, ćwiczenia, laboratoria) w ramach studiów w języku angielskim na kierunku mechanical engineering.

5.14. Opieka naukowa nad studentami

1. Promotor prac dyplomowych magisterskich na kierunku automatyka i robotyka, specjalność automatyka przemysłowa. Od 2006 roku liczba prac dyplomowych zrealizowanych pod moją opieką wynosi 27.

2. Promotor prac dyplomowych inżynierskich na kierunku automatyka i robotyka, specjalność automatyka przemysłowa. Od 2006 roku liczba prac dyplomowych zrealizowanych pod moją opieką wynosi 23.

3. Promotor prac dyplomowych magisterskich na kierunku mechanika i budowa maszyn, specjalność eksploatacja maszyn i urządzeń przemysłowych. Od 2006 roku liczba prac dyplomowych zrealizowanych pod moją opieką wynosi 6.

4. Promotor prac dyplomowych magisterskich na kierunku mechanika i budowa maszyn, specjalność maszyny i urządzenia w automatyzacji produkcji. Od 2006 roku liczba prac dyplomowych zrealizowanych pod moją opieką wynosi 3.

5. Promotor prac dyplomowych inżynierskich na kierunku mechanika i budowa maszyn, specjalność urządzenia hydrauliczne i pneumatyczne. Od 2006 roku liczba prac dyplomowych zrealizowanych pod moją opieką wynosi 4.

6. Promotor prac dyplomowych inżynierskich na kierunku inżynieria bezpieczeństwa, specjalność przemysłowe systemy bezpieczeństwa. Od 2006 roku liczba prac dyplomowych zrealizowanych pod moją opieką wynosi 6.

7. Promotor prac dyplomowych magisterskich na kierunku mechanika i budowa maszyn, specjalność komputerowe wspomaganie wytwarzania. Od 2006 roku liczba prac dyplomowych zrealizowanych pod moją opieką wynosi 2.

8. Promotor prac dyplomowych inżynierskich na kierunku mechanika i budowa maszyn, specjalność komputerowe wspomaganie wytwarzania. Od 2006 roku liczba prac dyplomowych zrealizowanych pod moją opieką wynosi 1.

9. Promotor prac dyplomowych magisterskich na kierunku mechanika i budowa maszyn, specjalność zastosowania informatyki. Od 2006 roku liczba prac dyplomowych zrealizowanych pod moją opieką wynosi 1.

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

Jestem promotorem pomocniczym jednej rozprawy doktorskiej:

- mgr inż. Gabriela Brachy, tytuł pracy „Badania równoległego manipulatora z serwonapędami pneumatycznymi sterowanymi z wykorzystaniem metod inteligentnych”, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, okres sprawowania opieki nad doktorantem: 12.06.2014 - nadal.

5.16. Staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

1. Opole University of Technology, Certificate of First International Summer School on Mechatronics System I1SSMS, Project No.: PL/07/LLP-LdV/TOI/140006, Wisła 27.09-02.10.2009 r.

2. Roczny staż naukowo-przemysłowy w P.P.W. „COMPREX” Sp. z o.o. w Krakowie, 01.01.2011-31.12.2011.

3. Miesięczny staż zagraniczny w ośrodku akademickim Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control Systems and Instrumentation, VSB-Technical University of Ostrava, 03.06.2014-30.06.2014.

4. Seminarium naukowe w Centre of Excellence IT4Innovations, Division of UO, Institute for Research and Applications of Fuzzy Modeling, University of Ostrava, 05.06.2014 na temat

"Fuzzy control of electro-pneumatic servo-drive".

5.17. Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie

1. Dindorf R., Takosoglu J., Woś P., 2015, *Ocena możliwości optymalizacji kuźnicy*. Celsa Huta Ostrowiec, Ostrowiec Świętokrzyski.

5.18. Udział w zespołach eksperckich i konkursowych

1. Opracowanie w zespole studium wykonalności do projektu MOLAB – „**Rozwój bazy badawczej specjalistycznych laboratoriów uczelni publicznych regionu świętokrzyskiego**” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Oś Priorytetowa 2: „Infrastruktura sfery B+R”, Działanie 2.2.: „Wsparcie tworzenia wspólnej infrastruktury badawczej jednostek naukowych”.

2. Uczestnictwo w zespołach eksperckich przy obsłudze przetargów w ramach projektu MOLAB.
3. Ekspert Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

5.19. Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Jestem autorem 22 recenzji publikacji w czasopismach międzynarodowych znajdujących się w bazie JCR. Byłem również recenzentem 5 artykułów konferencyjnych, recenzentem 5 artykułów spoza listy JCR, recenzentem 3 wniosków POIR – Program Operacyjny Inteligentny Rozwój, recenzentem 1 wniosku PBS – Program Badań Stosowanych, recenzentem 24 wniosków RPO – Regionalny Program Operacyjny, recenzentem 3 wniosków GEKON – Generator Koncepcji Ekologicznych, recenzentem 1 wniosku POIG – Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka, recenzentem 7 wniosków PARP – Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości:

- jeden artykuł w Journal of Medical Devices, American Society of Mechanical Engineers ASME,
- jeden artykuł w Control Engineering Practice, Elsevier,
- sześć artykułów w International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer,
- trzy artykuły w Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, SAGE,
- jeden artykuł w Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, SAGE,
- siedem artykułów w Mechatronics, Elsevier,
- jeden artykuł w Mechanical Systems and Signal Processing, Elsevier,
- jeden artykuł w Robotics and Autonomous Systems, Elsevier,
- jeden artykuł w Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Elsevier,
- dwa artykuły w Energies, Multidisciplinary Digital Publishing Institute MDPI,
- dwa artykuły w Actuators, Multidisciplinary Digital Publishing Institute MDPI,
- jeden artykuł w Technical Sciences, Publishing House of the University of Warmia and Mazury in Olsztyn,
- jeden artykuł w The Scientific Pages of Robotics, Publons,
- trzy artykuły konferencyjne Mechatronics Systems and Materials,
- jeden artykuł konferencyjny PNEUMA im. Franciszka Siemieniako.

Posiadam następujące certyfikaty potwierdzające:

1. Certificate of Reviewing, Mechatronics, Elsevier, czerwiec 2016.
2. Certificate of Outstanding Contribution in Reviewing, Mechatronics, Elsevier, listopad 2016.

3. Certificate of Reviewing, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Elsevier, listopad 2016.
4. Certificate of Outstanding Contribution in Reviewing, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Elsevier, listopad 2016.
5. Certificate of Reviewing, Robotics and Autonomous Systems, Elsevier, czerwiec 2017.
6. Certificate of Outstanding Contribution in Reviewing, Robotics and Autonomous Systems, Elsevier, lipiec 2017.
7. Review Confirmation Certificate, Energies, Actuators, MDPI, 2017-2018.

5.20. Udział w dodatkowych kursach i szkoleniach

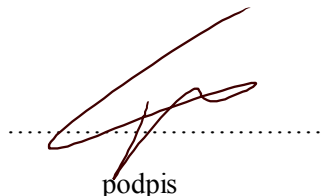
1. Forum jakości „**Nowe wyzwania w zapewnieniu i ocenie jakości kształcenia**”. Warsztaty: Projektowanie wewnętrznego systemu zapewnienia jakości kształcenia. Budowanie planów studiów w oparciu o efekty kształcenia, Gdynia 2012.
2. Certyfikat „**Intermediate-level course in specialist mechanical engineering English for academic teachers**”, Kielce listopad 2011-czerwiec 2012.
3. Szkolenie z zakresu „**Wsparcie studentów niepełnosprawnych – uczelnia bez barier**”, Kielce 2012.
4. Szkolenie „**Zarządzanie własnością intelektualną praktyce. Strategie komercjalizacji**” zakończone uzyskaniem certyfikatu, Kielce 2013.
5. Konferencja „**Krajowe ramy kwalifikacji – zmiana dla edukacji i rynku pracy**”, Kielce 2013.
6. Seminarium bolońskie „**Budowanie kultury jakości niezbędnym warunkiem efektywnego funkcjonowania wewnętrznego systemu zapewnienia jakości kształcenia**”, Kraków 2013.
7. Seminarium „**Umowa uczelnia-student. Zasady pobierania opłat za studia**”, Warszawa 2014.
8. Szkolenie „**Pozyskiwanie funduszy strukturalnych na projekty inwestycyjne i nieinwestycyjne szkół wyższych w latach 2014-2020**”, Kielce 17-18.02.2014.
9. Seminarium „**Bezpieczne maszyny**”, Kielce 2014.
10. Konferencja „**Biznes dla nauki – nauka dla biznesu**”, Kielce 2015.
11. Seminarium „**Potwierdzanie efektów uczenia się w szkolnictwie wyższym**”, Kielce 2015.
12. Szkolenie pn. „**Sprawy dotyczące kształcenia oraz szkoły doktorskie**”, Warszawa 24-25.10.2018.

5.21. Działalność organizacyjna

1. Prodzikan ds. Studenckich i Dydaktyki na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w kadencji 2012-2016.
2. Prodzikan ds. Studenckich i Dydaktyki na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w kadencji 2016-2020.
3. Kierownik Laboratorium Mechatroniki, Automatyki i Robotyki II na okres 1.01.2018-31.12.2020r.,
4. Członek organów kolegialnych:
 - członek Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej w roku akademickim 2007/08,
 - sekretarz Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej w roku akademickim 2008/09 i 2009/2010,

- pełnomocnik Rektora ds. kierunków zamawianych dla kierunku automatyka i robotyka 9.09.2009-30.09.2013,
- członek Zespołu ds. realizacji projektu „**Program podnoszenia atrakcyjności kierunków technicznych na Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach istotnych dla GOW**”, 1.09.2009-30.09.2013.
- członek Wydziałowej Komisji ds. Dydaktycznych w latach 2012-2016 i 2016-2020,
- koordynator ds. systemu POLON na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn od dnia 1.09.2012-nadal,
- członek organu opiniującego raport samooceny dla kierunku studiów automatyka i robotyka – 2012r.,
- członek Wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia w roku akademickim 2012/2013,
- członek Uczelnianego Kolegium Elektorów w kadencji 2012-2016 i 2016-2020,
- członek Komisji Dyscyplinarnej dla Studentów w kadencji 2012-2016 i 2016-2020,
- członek Senackiej Komisji Dydaktyki i Spraw Studenckich w kadencji 2012-2016 i 2016-2020,
- z-ca przewodniczącego Wydziałowej Komisji Stypendialnej w okresie 5.03.2014-30.09.2014r.,
- członek Zespołu ds. umiędzynarodowienia studiów w Politechnice Świętokrzyskiej od 1.10.2014r.
- z-ca przewodniczącego Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej w roku akademickim 2012/13, 2013/14, 2014/15, 2015/16, 2016/17, 2018/19,
- członek organu opiniującego raport samooceny dla kierunku studiów transport – 2014r.,
- członek Komisji Rekrutacyjnej do projektu „**Politechnika Świętokrzyska nowoczesną uczelnią w europejskiej przestrzeni gospodarczej**”, Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój na okres 10.05.2018-01.09.2020r.,
- koordynator wydziałowy projektu „**Politechnika Świętokrzyska nowoczesną uczelnią w europejskiej przestrzeni gospodarczej**”, Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój, Działanie 3.5 Kompleksowe programy szkół wyższych od 1.05.2018r.

Kielce dn. 14.03.2019



podpis