

Dominik RYBARCZYK
Grzegorz PITTNER
Roman REGULSKI

BADANIA SERWONAPĘDU ELEKTROHYDRAULICZNEGO Z ZAWOREM PROPORCJONALNYM STEROWANYM SILNIKIEM SYNCHRONICZNYM Z REGULATOREM TYPU PI

STRESZCZENIE *W artykule przedstawiono badania serwonapędu elektrohydraulicznego z zaworem proporcjonalnym, którego elementem zadającym jest silnik synchroniczny z magnesami trwałymi. W zaworze wykorzystano możliwości uzyskania bardzo dużej dokładności pozycjonowania oraz dynamiki przez nowoczesne silniki typu PMSM. Zawór sterował położeniem siłownika hydraulicznego. Do pozycjonowania wykorzystano regulator typu PI. Układ sterowania opierał się na sterowniku PLC z panelem dotykowym oraz module falownika. Serwonapęd testowano za pomocą sygnału typu skok jednostkowy.*

Słowa kluczowe: *serwonapęd elektrohydrauliczny, zawór proporcjonalny, silnik synchroniczny z magnesami trwałymi, regulator PID*

1. WSTĘP

Serwonapędy elektrohydrauliczne znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Pozwalają na uzyskanie bardzo dużych sił za pomocą sygnałów elektrycznych o małej mocy. Zapewniają przy tym dużą dokładność pozycjonowania.

mgr inż. Dominik RYBARCZYK, mgr inż. Grzegorz PITTNER
mgr inż. Roman REGULSKI

e-mail: [dominik.rybarczyk, grzegorz.pittner, roman.regulski]@put.poznan.pl

Politechnika Poznańska
pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 264, 2014

Duża część obecnie prowadzonych badań w zakresie serwonapędów elektrohydraulicznych skupia się na poszukiwaniu i implementacji nowych metod sterowania napędami, ich diagnostyce, oraz nowych sposobów sterowania elementami zadającymi w stopniu zaworu. W serwonapędach elektrohydraulicznych najczęściej stosowane są zawory proporcjonalne z elektromagnesami oraz serwozawory. Obydwa typy posiadają pewne ograniczenia [1, 2]. Z tego względu konieczne jest poszukiwanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych pozbawionych tych problemów. W artykule przedstawiono zawór proporcjonalny, którego elementem zadającym jest silnik synchroniczny typu PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor). Układ został połączony z siłownikiem hydraulicznym wyposażonym w czujnik pozycji.

W literaturze oraz badaniach naukowych kilkakrotnie podejmowano próbę zastosowania silników w zaworach hydraulicznych. W pracy [2] opisano badania zastosowania silnika skokowego w napędzie elektrohydraulicznym. Autor [3] opisał zastosowanie silnika skokowego w zaworze do uzyskiwania bardzo małych prędkości ruchu. Artykuł [4] opisuje zastosowanie silnika Serwo do sterowania zaworem proporcjonalnym poprzez przekładnię krzywkową. W artykule [5] Autorzy opisali zastosowanie systemu Hardware In The Loop do pozycjonowania napędu hydraulicznego z zaworem wyposażonym w opisywany napęd.

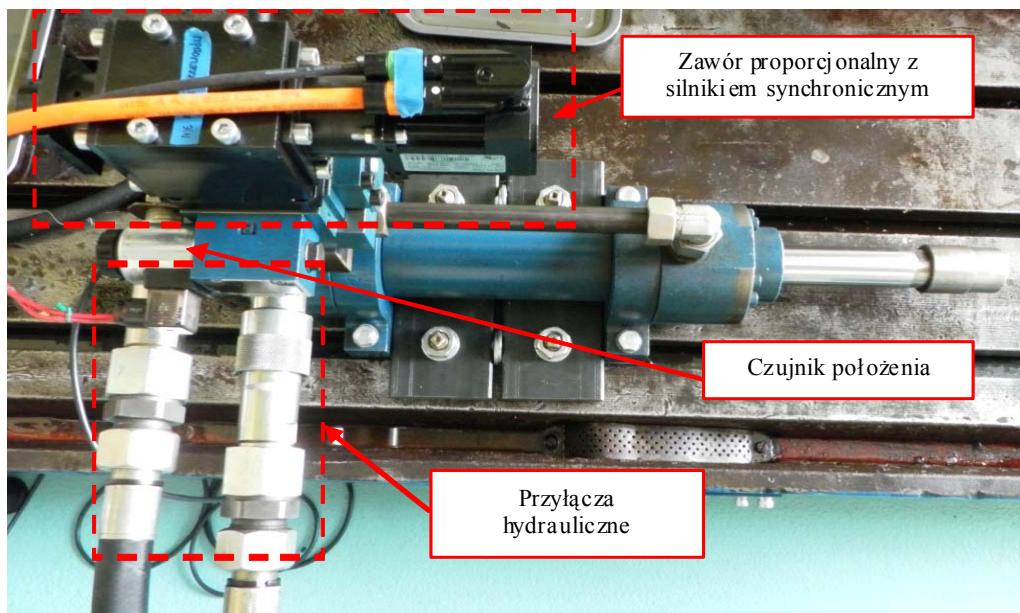
2. BADANIA DOŚWIADCZALNE

W celu weryfikacji skuteczności działania opisywanego systemu przeprowadzono badania eksperymentalne. W tym celu konieczne stało się zbudowanie dedykowanego stanowiska badawczego oraz oprogramowanie napędu. Podczas badań przebadano regulator typu P oraz PI.

2.1. Budowa stanowiska badawczego

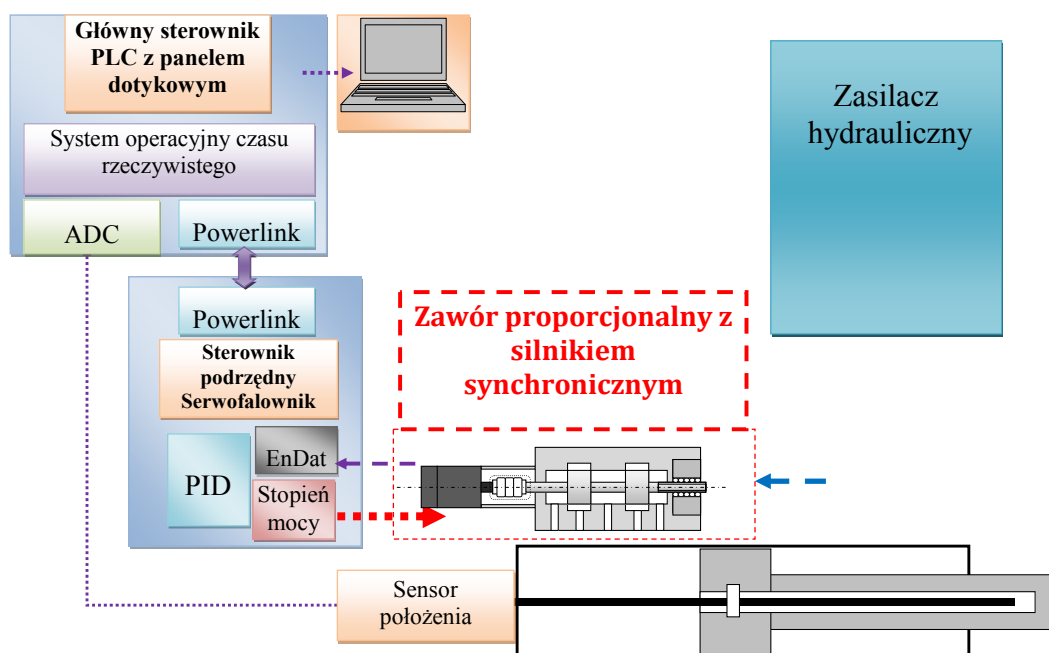
Stanowisko badawcze składało się z siłownika hydraulicznego pracującego w zakresie 20 mm. Siłownik połączony był z zaworem proporcjonalnym z silnikiem synchronicznym. W zaworze wykorzystano możliwości uzyskania bardzo dużej dokładności pozycjonowania oraz dynamiki przez nowoczesne silniki typu PMSM. Położenie cylindra siłownika mierzone było za pomocą czujnika położenia, dającego na wyjściu sygnał analogowy w zakresie 0-10 V. Układ zasilano za pomocą zasilacza hydraulicznego o regulowanym ciśnieniu oraz przepływie (rys. 1).

Układ sterowania opierał się na sterowniku PLC z panelem dotykowym typu Power Panel 500 oraz serwofalowniku typu Acopos. Sterownik wyposażono w moduły: analogowy, służący do odczytu położenia tłoka siłownika oraz komunikacyjny Powerlink, zapewniający komunikację pomiędzy sterownikiem a serwofalownikiem. Całość pracowała pod kontrolą systemu operacyjnego czasu rzeczywistego Automation Runtime [6] (rys. 2, 3).

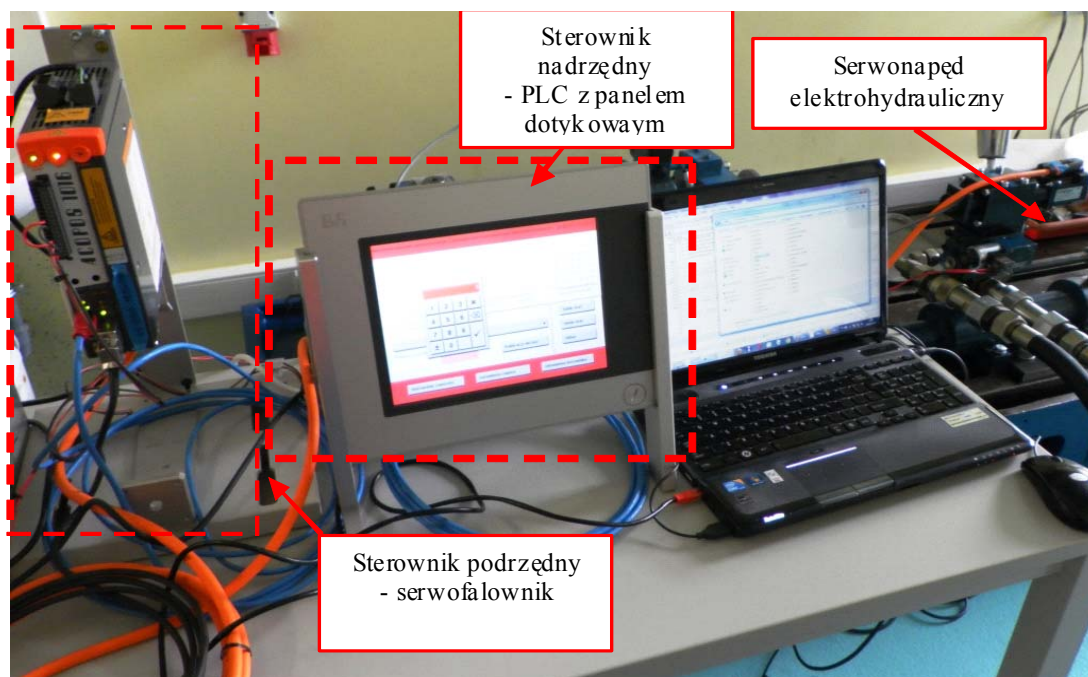


Rys. 1. Stanowisko badawcze z serwonapędem elektrohydraulicznym wyposażonym w zawór z silnikiem PMSM

W zaworze zastosowano silnik typu PMSM firmy B&R (LVA23). Silnik wyposażony był w enkoder absolutny EnDat, zapewniający bardzo dużą dokładność pozycjonowania oraz możliwość zapamiętania aktualnej pozycji po zaniku zasilania. Parametry regulatorów prędkość oraz położenia silnika dobrano za pomocą funkcji autostrojenia, w którą wyposażony był blok sterowania falownika.



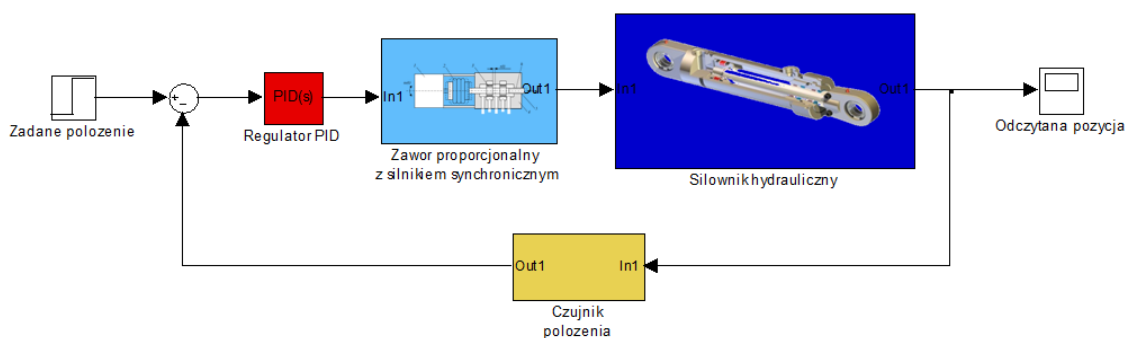
Rys. 2. Stanowisko badawcze z serwonapędem elektrohydraulicznym wyposażonym w zawór z silnikiem PMSM



Rys. 3. Stanowisko badawcze z serwonapędem elektrohydraulicznym wyposażonym w zawór z silnikiem PMSM

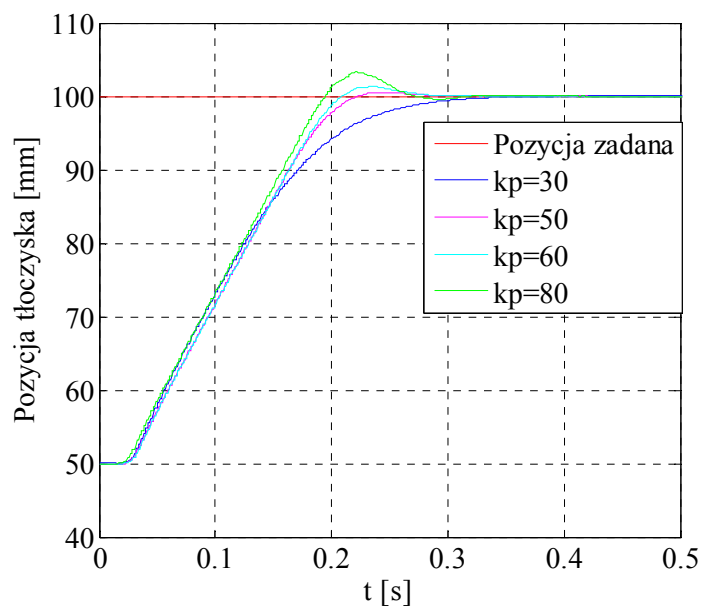
2.2. Otrzymane wyniki

Układ pozycjonowano za pomocą regulatora typu PI (rys. 4). Jego parametry dobrano doświadczalnie. Serwonapęd poddano działaniu sygnału typu skok jednostkowy w zakresie 50 mm. Układ hydrauliczny pracował pod ciśnieniem 10 MPa. Podczas testów zmieniano wartość wzmocnienia k_p . Na otrzymanych przebiegach widać wyraźny wpływ tych zmian.



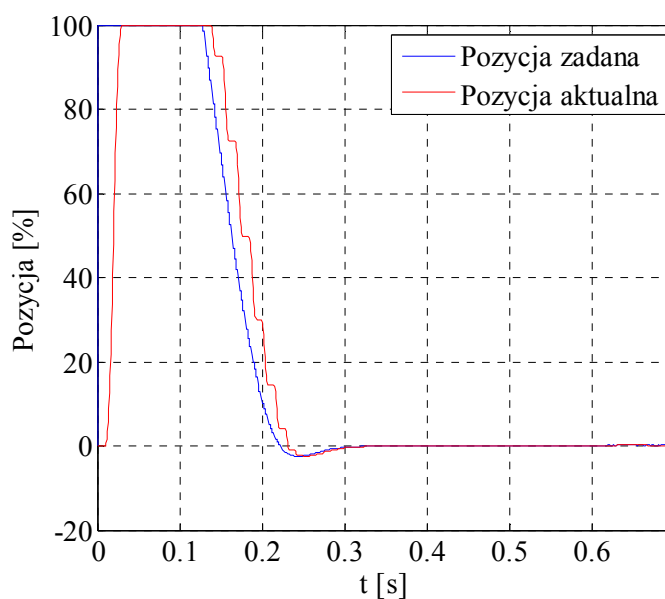
Rys. 4. Schemat blokowy

W pierwszej kolejności zbadano działanie napędu dla różnych wartości wzmocnień współczynnika k_p przy zachowaniu stałej wartości ciśnienia zasilania. Na otrzymanych przebiegach widać wyraźny wpływ tych zmian. Brak przeregulowania występował dla wzmocnienia o wartości $k_p = 30$ (rys. 5).



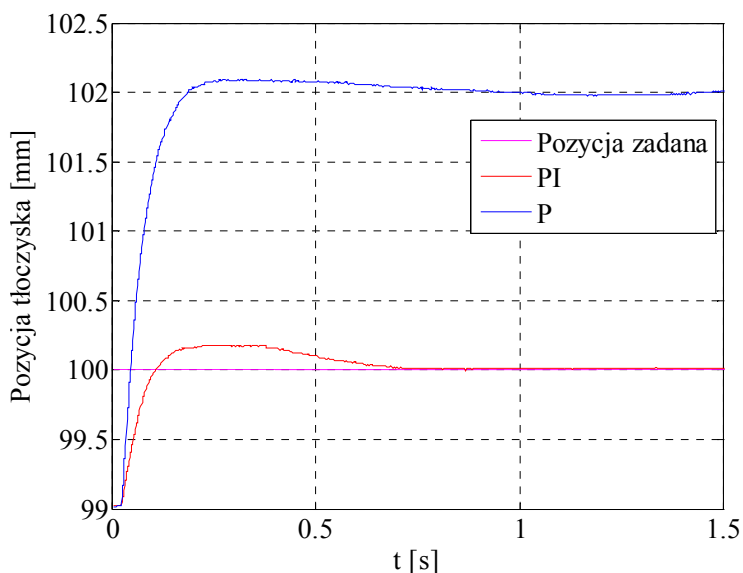
Rys. 5. Odpowiedź serwonapędu hydraulicznego na różne wartości wzmocnień regulatora

Na kolejnym przebiegu (rys. 6) przedstawiono aktualne położenie suwaka zaworu w czasie pozycjonowania napędu. Do przeniesienia ruchu obrotowego silnika synchronicznego na ruch posuwisto-zwrotny suwaka zaworu zastosowano sprzęgło mieszkowe. Dzięki temu można założyć, że ruch obu elementów jest wprost proporcjonalny. Opóźnienie transportowe oraz inercja układu wynika z bezwładności elementów mechanicznych, opóźnień komunikacyjnych pomiędzy falownikiem i sterownikiem nadrzędnym.



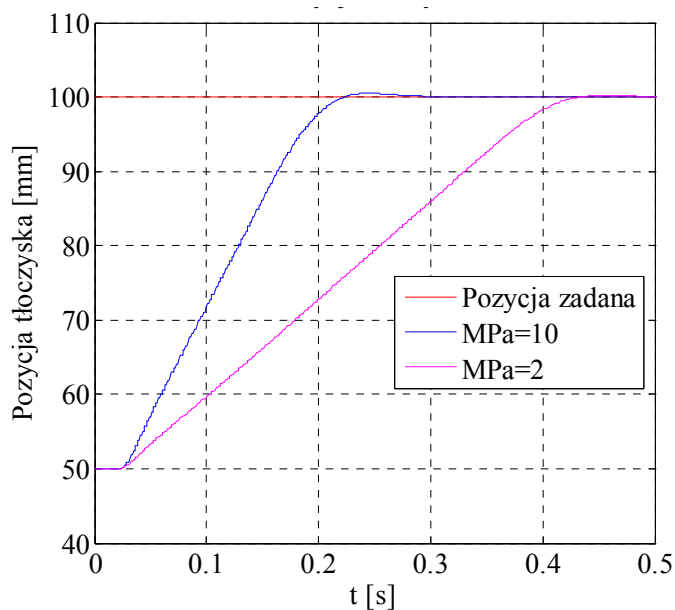
Rys. 6. Przemieszczenie suwaka zaworu dla wartości wzmocnienia $k_p = 50$

Podczas kolejnej próby sprawdzono wpływ członu całkującego w regulatorze na działanie układu sterującego. Cylinder siłownika przemieszczono o wartość 1 mm. Nastawy parametrów regulatora proporcjonalnego wynosiły $k_p = 30$, natomiast regulatora PI $k_p = 30$, $k_i = 0,001$ (ograniczenie całkowania 2000). Parametry dobrano eksperymentalnie. Dzięki temu usunięto uchyb ustalony (rys. 7).



Rys. 7. Wpływ całkowania na zachowanie układu

W kolejnym kroku sprawdzono zachowanie się układu dla różnych wartości ciśnień. Jego zmniejszenie pozwalało na zwiększenie parametru k_p , bez wpływu na przeregulowanie: dla ciśnienia roboczego 2 MPa wartość wzmacnienia wynosiła $k_p = 100$, dla ciśnienia 10 MPa wartość wzmacnienia $k_p = 50$ (rys. 8).



Rys. 8. Wpływ zmian ciśnienia na pozycjonowanie napędu

3. PODSUMOWANIE

W artykule opisano badania sterowania serwonapędu elektrohydraulicznego wyposażonego w zawór proporcjonalny z silnikiem synchronicznym. Przebadano dwa warianty regulatorów (regulatory typu P i PI). Układ testowany był dla różnych wartości nastaw regulatorów oraz różnych wartości ciśnień. W celu wykonania badań zbudowano stanowisko badawcze z dedykowanym układem sterowania. Na podstawie otrzymanych wyników można wnioskować, że dodanie członu całkującego w regulatorze pozwala na usunięcie uchybu ustalonego, co jest szczególnie istotne przy niewielkich przemieszczeniach.

Prezentowane rozwiązanie stanowi alternatywę dla serwonapędów elektrohydraulicznych wyposażonych w standardowe zawory z elektromagnesami lub silnikami momentowymi.

Dalsze badania mają na celu przebadanie różnych wariantów regulatorów, takich jak regulatory rozmyte itp. oraz porównanie napędu z napędami wyposażonymi w standardowe zawory.

LITERATURA

1. Stryczek S.: Napęd hydrostatyczny, tom I: Elementy, Warszawa, WNT, 1997.
2. Milecki A.: Wybrane metody poprawy właściwości serwonapędów elektrohydraulicznych. Podstawy teoretyczne, konstrukcja, badania symulacyjne i doświadczalne, Poznań, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1999.
3. Myszkowski A.: Badanie możliwości uzyskiwania małych prędkości ruchu przez liniową serwojednostkę elektrohydrauliczną z silnikiem skokowym i elektrycznym sprzężeniem zwrotnym, rozprawa doktorska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Poznań, 2003.
4. Wiegandt M.: Development of a servomotor driven proportional valve, 7 th International Fluid Conference, Aachen, 2010.
5. Rybarczyk D., Owczarek P., Gośliński J.: Application of hardware in the loop technology for testing servo drives with synchronous motor, *Pomiary-Automatyka-Robotyka*, Luty 2013, pp. 461-466.
6. www.br-automation.com, Marzec 2013.

Rękopis dostarczono dnia 28.06.2013 r.

RESEARCH OF ELECTROHYDRAULIC SERVODRIVES
WITH A PROPORTIONAL VALVE CONTROLLED BY
A SYNCHRONOUS MOTOR WITH PI CONTROLLER

Dominik RYBARCZYK, Grzegorz PITTNER
Roman REGULSKI

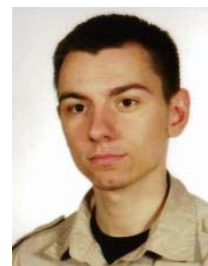
ABSTRACT *The article describes the research of electrohydraulic servo drives with proportional valve controlled by synchronous motor with permanent magnets. In the presented valve, Authors used the possibility of obtaining very high positioning accuracy and dynamics of the modern motors type PMSM (Permanent Magnets Synchronous Motor). The valve controlled the position of the hydraulic cylinder. As the positioning controller Authors used regulator type PI. A control system based on PLC with touch panel and inverter module. Servo drive was tested using a step change signal.*

Keywords: *electrohydraulic servo drive, proportional valve, synchronous motor, PID regulator*



Mgr inż. Dominik RYBARCZYK – asystent w Zakładzie Urządzeń Mechatronicznych Politechniki Poznańskiej. Jego zainteresowania naukowe związane są ze sterowaniem urządzeniami mechatronicznymi, elektrohydrauliką, modelowaniem oraz metodami sztucznej inteligencji.

Mgr inż. Grzegorz PITTNER – asystent w Zakładzie Urządzeń Mechatronicznych Politechniki Poznańskiej. Jego zainteresowania naukowe związane są ze sterowaniem urządzeniami mechatronicznymi, wibracjami i metodami ich redukcji oraz modelowaniem układów mechatronicznych.



Mgr inż. Roman REGULSKI – doktorant w Zakładzie Urządzeń Mechatronicznych Politechniki Poznańskiej. Jego zainteresowania naukowe związane są ze sterowaniem urządzeniami mechatronicznymi, elektroniką, rozpoznawaniem mowy oraz sterowaniem głosowym.