

ISBN 978-83-61278-18-4

# Polskie innowacje w automatyce i robotyce

WARSZAWA 2013



2-5

## Spis treści

---

7

## Wstęp

---

**Jan Jabłkowski**

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

Kontakt / [www.piap.pl](http://www.piap.pl)

8-15

## Naukowcy bliżej przemysłu

---

**Małgorzata Kaliczyńska, Bożena Kalinowska**

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

Kontakt / [mkaliczynska@piap.pl](mailto:mkaliczynska@piap.pl) / [bkalinowska@piap.pl](mailto:bkalinowska@piap.pl) / [www.piap.pl](http://www.piap.pl) / [naukowcyblizejprzemyslu.piap.pl](http://naukowcyblizejprzemyslu.piap.pl)

16-23

## Roboty ratujące ludzkie życie

---

**Piotr Szynkarczyk**

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

Kontakt / [PiotrSzynkarczyk@piap.pl](mailto:PiotrSzynkarczyk@piap.pl) / [www.piap.pl](http://www.piap.pl) / [www.antiterrorism.eu](http://www.antiterrorism.eu)

24-29

## TALOS – roboty na granicy

---

**Agnieszka Sprńska**

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

Kontakt / [asprnska@piap.pl](mailto:asprnska@piap.pl) / [www.talos-border.eu](http://www.talos-border.eu)

30-33

## Technologia odzysku metali z odpadów zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego

---

**Jakub Szałatkiewicz**

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

Kontakt / [jszalatkwicz@piap.pl](mailto:jszalatkwicz@piap.pl) / [www.piap.pl](http://www.piap.pl)

34\_39

### Robotyzacja ukosowania blach. Blachy przykrojone na miarę

---

**Zbigniew Pilat**

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

Kontakt / ZbigniewPilat@piap.pl

40\_45

### Regulator dla wielowymiarowego układu z opóźnieniem transportowym

---

**Jerzy Kurek**

Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Robotyki

Kontakt / jkurek@mchtr.pw.edu.pl

46\_51

### Wirtualne byty pomagają projektantowi w rzeczywistym świecie

---

**Wojciech Moczulski, Marcin Januszka**

Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn

Kontakt / wojciech.moczulski@polsl.pl / marcin.januszka@polsl.pl

52\_59

### Ogniwa paliwowe alternatywnym źródłem zasilania automatycznych platform podwodnych

---

**Jerzy Garus, Adam Polak**

Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno-Elektryczny

Kontakt / j.garus@amw.gdynia.pl / a.polak@amw.gdynia.pl

60\_65

### Robot MTracker do zastosowań naukowo-badawczych i dydaktycznych

---

**Krzysztof Kozłowski**

Politechnika Poznańska, Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów

Kontakt / krzysztof.kozlowski@put.poznan.pl

66\_73

### Wizyjne sterowanie ruchem robota KUKA KR3

---

**Krzysztof Palenta<sup>1</sup>, Artur Babiarczyk<sup>2</sup>, Radosław Zawiski<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>General Motors Manufacturing Poland, <sup>2</sup>Politechnika Śląska, Instytut Automatyki

Kontakt / k.palenta@gmail.com / artur.babiarczyk@polsl.pl / radoslaw.zawiski@polsl.pl

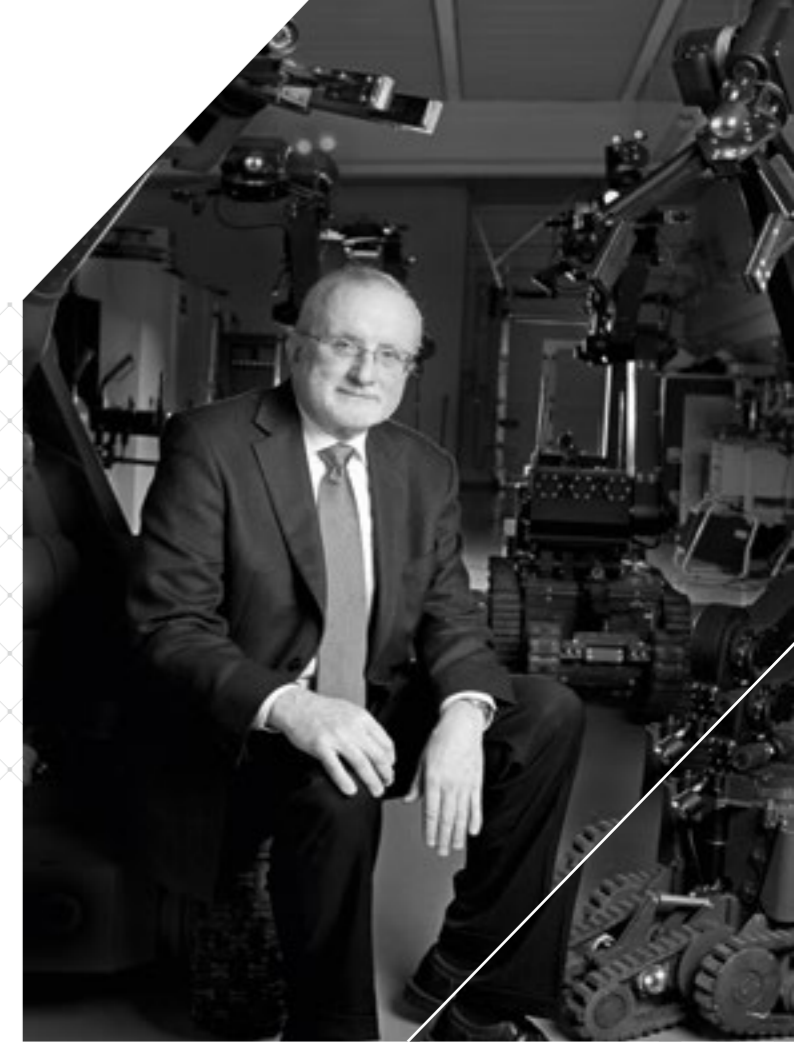
## Szanowni Państwo,

Jest mi niezmiernie miło zaprezentować Państwu niniejszą pozycję traktującą o polskich innowacjach w obszarach automatyki i robotyki. W tej publikacji przedstawimy wybrane osiągnięcia polskich zespołów naukowych dotyczące projektów realizowanych w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów PIAP oraz w innych kluczowych jednostkach naukowych.

PIAP jest pierwszym i największym producentem wysokiej jakości robotów mobilnych do zastosowań antyterrorystycznych w centralnej Europie.

PIAP został założony przed blisko 50 laty i przez cały czas zdobywał doświadczenie w automatyce i robotyce, także przemysłowej. PIAP ma także ogromne doświadczenie w koordynacji międzynarodowych projektów badawczych.

PIAP jest jednostką badawczą łączącą dwa obszary – naukę i przemysł. To tu powstają pomysły, które następnie są wdrażane na rynku. Jednym z projektów łączących te dwa światy jest właśnie projekt „Naukowcy bliżej przemysłu”, w ramach którego wydano niniejszą publikację.



Zapraszam do zapoznania się z przykładami polskich rozwiązań w automatyce i robotyce. Wierzę, że ciekawa lektura zainspiruje Państwa, aby dokładniej poznać możliwości współpracy z Przemysłowym Instytutem Automatyki i Pomiarów PIAP oraz innymi polskimi ośrodkami naukowymi.

**dr inż. Jan Jabłkowski**  
Dyrektor Przemysłowego  
Instytutu Automatyki  
i Pomiarów PIAP  
Grudzień 2013

# Naukowcy bliżej przemysłu



---

**Małgorzata Kaliczyńska, Bożena Kalinowska**  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

Kontakt / [mkaliczynska@piap.pl](mailto:mkaliczynska@piap.pl) / [bkalinowska@piap.pl](mailto:bkalinowska@piap.pl) / [www.piap.pl](http://www.piap.pl) / [naukowcyblizejprzemyslu.piap.pl](http://naukowcyblizejprzemyslu.piap.pl)

---

Dostęp do funduszy unijnych przyczynił się do poprawy warunków działania jednostek B+R i przedsiębiorstw, a tym samym do poprawy funkcjonowania gospodarki. Generowane na te cele środki finansowe pochodzą z różnych źródeł, m.in. w formie dotacji, np. realizowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju Działanie 4.2 Podniesienie umiejętności pracowników systemu B+R w zakresie zarządzania badaniami naukowymi i pracami rozwojowymi oraz komercjalizacji rezultatów prac badawczych w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki. Projekt „Naukowcy bliżej przemysłu” oraz realizowane w jego ramach działania są dofinansowane z Europejskiego Funduszu Społecznego.

## PIAP jako jednostka naukowa współpracująca z przedsiębiorstwami

Przykładem polskiej jednostki kreującej innowacje i współpracującej ze sferą gospodarczą jest Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP z siedzibą w Warszawie – państwowy instytut badawczy. W instytucie zatrudnionych jest ponad 250 pracowników, a realizowane tu projekty wdrożeniowe są źródłem wzrostu efektywności realizowanych w przemyśle inwestycji. Blisko 1 % wszystkich polskich patentów i zgłoszeń patentowych jest obecnie dziełem pracowników Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP. Liczba ta potwierdza założoną misję instytutu i stosowaną politykę jakości, wśród których najważniejszy jest transfer nowoczesnych technologii do przedsiębiorstw przemysłowych. Obecnie działalność Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP koncentruje się na trzech obszarach:

- automatyzacji i robotyzacji procesów produkcyjnych,
- robotach mobilnych do zastosowań specjalnych,
- realizacji projektów w ramach współpracy międzynarodowej.

Prace badawcze nad nowymi technologiami są powiązane z projektowaniem urządzeń, linii produkcyjnych i systemów zintegrowanego wytwarzania, a ich efekty są wdrażane w przemyśle.

## Projekt „Naukowcy bliżej przemysłu”

Projekt realizowany jest od 1 kwietnia 2012 r. do końca 2013 r. Głównym jego celem jest podniesienie świadomości pracowników naukowych dotyczącej znaczenia osiągnięć nauki w rozwoju gospodarki. Projekt koncentruje się na upowszechnianiu informacji o wykorzystaniu prac B+R w gospodarce oraz o metodach i formach współpracy z przemysłem przy transferze technologii. Jego realizacja wynika z potrzeby podniesienia świadomości w zakresie przyjętych na świecie rozwiązań w zarządzaniu, procesach komercjalizacji i wdrażania gospodarczego rezultatów projektów realizowanych przez naukowców.

Grupą docelową projektu są pracownicy naukowcy, głównie w obszarach automatyki i robotyki. Uczestnicząc w projekcie naukowcy mają bezpośredni kontakt z najnowszymi rozwiązaniami naukowymi, zapoznają się z działaniami zagranicznych ośrodków podczas wyjazdów studyjnych, poznają przykłady naukowców, którzy skomercjalizowali wyniki swoich badań.

Projekt jest skoncentrowany wokół trzech kluczowych form komunikacji. Są to fora dyskusyjne, wizyty studyjne i konferencja.

Ważne jest stworzenie naukowcom warunków do wspólnych działań z innymi naukowcami oraz z przemysłem. Udział w działaniach projektu zaspokoi potrzebę podniesienia świadomości w obszarze dopasowania badań naukowych do zmieniających się wymagań rynku, wynikających ze światowego postępu technologicznego. Naukowcy wizytując wiodące ośrodki zagraniczne będą mieli bezpośredni kontakt z rzeczywistym środowiskiem prac B+R automatyków i robotyków.

## Forum naukowo-techniczne Automatyzacja i robotyzacja

W ramach projektu zrealizowano fora dyskusyjne dla pracowników naukowych z dziedziny automatyki i robotyki oraz przedstawicieli przedsiębiorców – w Katowicach i w Warszawie. Celem forum była dyskusja i wymiana wiedzy, zwiększenie świadomości środowiska naukowego nt. sprawdzonych metod i dobrych praktyk prowadzenia badań naukowych dla przemysłu. Obie edycje miały podobną tematykę. Rozpoczęły się wystąpieniami pracowników z obszaru przemysłu pod hasłem Automatyzacja i robotyzacja w przemyśle „Praktyka przemysłowa – innowacje oczyma przedsiębiorców”. Poruszane były tematy robotyzacji w firmie, bezpieczeństwa w automatyzacji i robotyzacji, zasady uzyskiwania oznakowania CE wyrobów.

Przeprowadzono również pokaz spawania (uczestnicy samodzielnie programowali trajektorie spawania) oraz pokaz pracy robota z chwytakiem w automatyzacji transportu. Był też czas na dyskusję, na koniec przeprowadzono badania ankietowe. 89 % ankietowanych chciałoby w przyszłości uczestniczyć w organizowanych kontaktach na linii naukowcy–przemysł.

Pracownicy naukowcy uczestniczący w forum sformułowali postulaty, aby:

- zintensyfikować udział jednostek spoza nauki w ponoszeniu odpowiedzialności za wdrażanie osiągnięć rodzimej nauki do praktyki;
- zobowiązać jednostki gospodarki narodowej do korzystania w pierwszym rzędzie z rodzimych osiągnięć naukowych;
- wzmocnić udział (m.in. finansowy) jednostek gospodarczych i samorządowych w profilowaniu kształcenia na najwyższym poziomie w perspektywie rozwoju rodzimego przemysłu;
- wystąpić do odpowiednich resortów gospodarczych w celu pilnego uruchomienia kształcenia wysoko kwalifikowanych kadr do obsługi krajowego systemu gazowego w aspekcie złóż gazu łupkowego.

## Wizyty studyjne pracowników naukowych w zagranicznych ośrodkach badawczych

W projekcie zaplanowano wizyty studyjne pracowników naukowych w zagranicznych ośrodkach badawczych, podczas których prezentowane są wyniki transferu wiedzy do przemysłu, najlepsze praktyki oraz procedury zarządzania projektami badawczymi oraz praktyczne aspekty ochrony własności niematerialnych i prawnych wytworzonych podczas prac badawczych. Uczestnikami wizyt byli m.in. pracownicy naukowcy Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP, Akademii Marynarki Wojennej, Akademii Górniczo-Hutniczej oraz Politechnik: Warszawskiej, Krakowskiej, Śląskiej, Poznańskiej, Gdańskiej i Białostockiej.

### Wizyta w VTT – Finlandia

Pierwsza wizyta miała miejsce w VTT Technical Research Centre of Finland (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus) – największej organizacji badawczej w Europie Północnej. Centrum Badawcze VTT zatrudnia ponad 3000 osób. W czasie wizyty pracownicy VTT prezentowali osiągnięcia dotyczące współpracy z przemysłem i metod komercjalizacji oraz realizowanych projektów dotyczących systemów M2M, bezprzewodowego przesyłu energii, pomiarów wibracji, interaktywnych układów sterowania robotów. Prezentowano także doświadczalny system produkcji energii odnawialnej przeznaczony do gospodarstwa domowego. Uczestnicy wizyty zwiedzili laboratoria VTT związane z systemami robotowymi, sieciami bezprzewodowymi, wbudowanymi układami sensorycznymi.

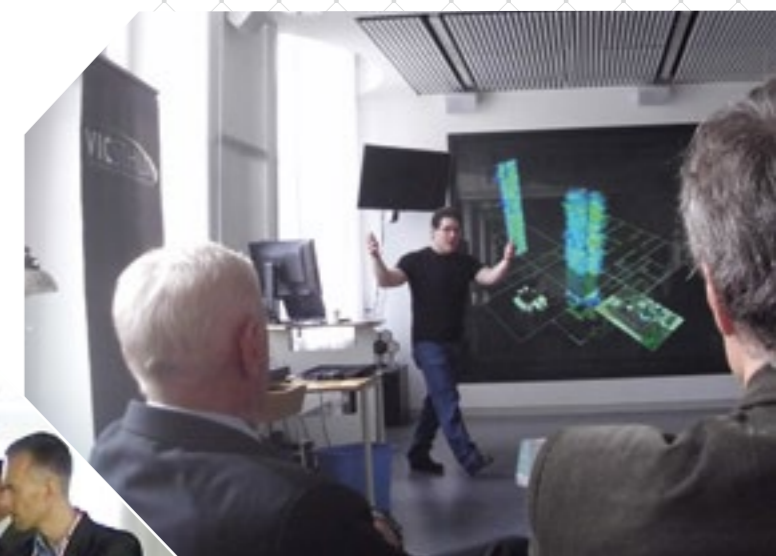
Zasady działania fińskiego Centrum Badawczego są podobne do tych stosowanych w polskich instytutach, jednak Centrum nie prowadzi działalności gospodarczej. W przypadku opracowania nowej technologii lub produktu VTT przekazuje innowację w ręce prywatne w zamian za udziały w spółce. Rocznie tworzonych jest nawet 15 spółek typu spin-off, w których VTT ma ok. 1/3 udziałów.

### Wizyta w ESA – Holandia

Europejska Agencja Kosmiczna ESA (ang. European Space Agency) to międzynarodowa organizacja krajów europejskich, której celem jest eksploracja i wykorzystanie przestrzeni kosmicznej, także w aspektach robotyki. Podczas wizyty każdy z uczestników mógł przedstawić swoje osiągnięcia, macierzystą instytucję oraz realizowane projekty. Wszyscy poszukiwali obszarów współpracy, szczególnie w zakresie robotyki kosmicznej. Uczestnicy zwiedzali też laboratoria European Space Research and Technology Centre (ESTEC) – m.in. robotyczne i inżynierii materiałowej – oraz wystawę Space Expo.



Przedstawicielka Centrum Edukacyjnego ESA zachęcała do udziału w projektach edukacyjnych oraz do zgłaszania nowych pomysłów, które mogłyby uzyskać dofinansowanie. Inspirująca była wizyta w Centrum Innowacji ESIC (The European Space Innovation Centre) pełniącym funkcję inkubatora przedsiębiorczości, gdzie zaprezentowano nowe rozwiązania w branży kosmicznej.





### Wizyta w ośrodkach badawczych – USA

Głównym celem wizyty w USA była wymiana doświadczeń z wiodącymi ośrodkami badawczo-wdrożeniowymi w dziedzinie automatyki i robotyki. Nawiązane cenne naukowo-techniczne kontakty bilateralne powinny zaowocować wspólnymi projektami i stażami. Odwiedzono następujące instytucje: National Institute of Standards and Technology (NIST) w Waszyngtonie, US Army Research (RDECOM-ECBC, RDECOM-ARL) w Aberdeen, University of Maryland – Robotics Center w Maryland, Carnegie Mellon University CMU – Robotics Institute w Pittsburghu, Wayne State University (WSU) w Detroit oraz Ford Research and Innovation Center w Detroit.

### Maryland Robotics Center

to interdyscyplinarny ośrodek badawczy, którego misją jest rozwój zrobotyzowanych systemów, technologii i aplikacji robotyki wykorzystywanych w programach badawczych i edukacyjnych, które mają charakter interdyscyplinarny. Działalność ośrodka obejmuje wszystkie aspekty robotyki, w tym rozwój technologii komponentów (np. czujniki, siłowniki), zrobotyzowanych platform z uwzględnieniem inteligencji i autonomii manipulatorów. W Centrum pracują członkowie licznych wydziałów Uniwersytetu w Maryland. Projekty badawcze realizowane w Centrum są finansowane przez największe agencje federalne, w tym przez NSF, ARO, ARL, ONR, AFOSR, NIH, DARPA, NASA i NIST.

### US Army Research, Development and Engineering Command (RDECOM) w Aberdeen, Maryland

to osiem głównych laboratoriów i ośrodków badawczo-rozwojowych, w których opracowywane są m.in. nowe technologie robotyczne.

Zespół RDECOM liczy ponad 17 tys. pracowników, wśród nich blisko 11 tys. to konstruktorzy i pracownicy naukowcy. Prace prowadzone są we współpracy z sieciami akademickimi, przemysłem i partnerami międzynarodowymi. Badania odnoszą się do wszystkiego, co otacza żołnierza – do tego, co je, jakie ubranie nosi, czym jeździ lub lata.

### Carnegie Mellon University CMU – Robotics Institute, Pittsburgh

jest światowym liderem w dziedzinie robotyki. Od powstania w 1979 r. integruje technologie robotyczne w życiu codziennym. Ponad 50 wykładowców przyczynia się do rozwoju wielu dziedzin związanych z robotyką, w tym robotyki kosmicznej, grafiki komputerowej, robotyki medycznej, wizji maszynowej, sztucznej inteligencji, i wielu innych obszarów nauki.

### Wayne State University, Detroit

to publiczna uczelnia państwowa w stanie Michigan w USA – trzecia co do wielkości uczelnia stanu Michigan. Ważnym projektem jest budowane stanowisko do operacji z dwoma precyzyjnymi manipulatorami chirurgicznymi, które umożliwia sterowanie przyrządami za pomocą manipulatorów, sterowanie głosem oraz sprzężenie pracy kamery z ruchem przyrządów chirurgicznych.

## Konferencja Naukowo-Techniczna AUTOMATION 2013

W marcu 2013 r. w Centrum Konferencyjnym Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP odbyła się konferencja AUTOMATION. W konferencji wzięło udział 135 uczestników, w tym blisko 100 pracowników naukowych. Byli wśród nich przedstawiciele największych polskich uczelni technicznych, instytutów badawczych, placówek PAN oraz 5 prelegentów z zagranicznych uczelni.

Na konferencji wygłoszono 6 referatów plenarnych oraz 81 referatów w pięciu sesjach tematycznych:

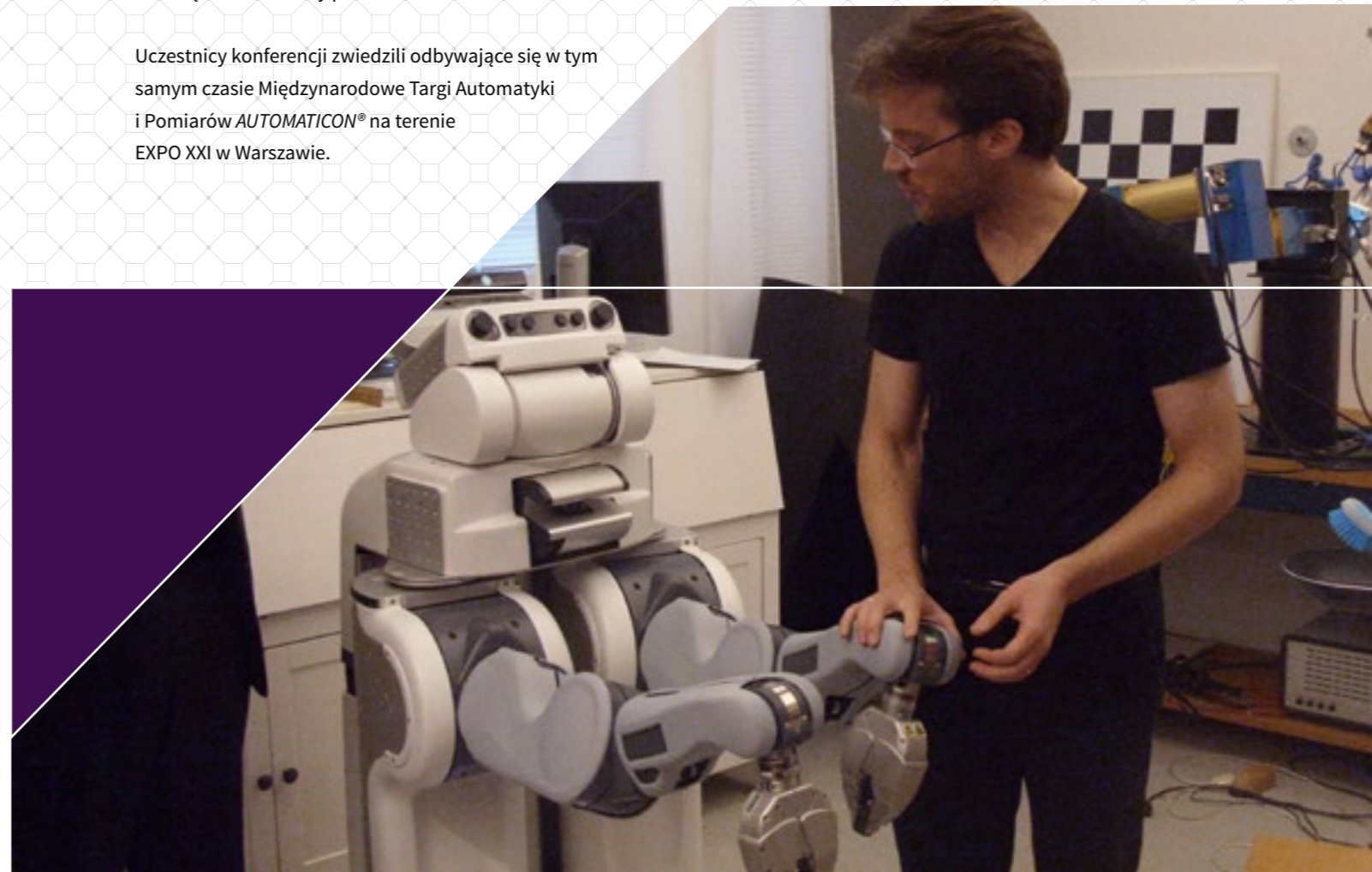
1. Automatyzacja, robotyzacja, monitorowanie,
2. Oprogramowanie, wyposażenie i zastosowania robotów mobilnych,
3. Metody projektowania i integracji systemów,
4. Urządzenia do automatyzacji i robotyzacji,
5. Urządzenia i układy pomiarowe.

Uczestnicy konferencji zwiedzili odbywające się w tym samym czasie Międzynarodowe Targi Automatyki i Pomiarów AUTOMATICON® na terenie EXPO XXI w Warszawie.

### Podsumowując,

wyniki wszystkich badań ankietowych potwierdzają, że wzrosła świadomość uczestników projektu w zakresie znaczenia nauk technicznych w rozwoju gospodarki. Tego typu działania są bardzo cenne, lecz nie spowodują nagłej poprawy sytuacji. Konieczne są zmiany systemowe sugerowane w raporcie Głównego Doradcy Ekonomicznego PricewaterhouseCoopers Polska, prof. Witolda Orłowskiego.

**Zapraszamy do współpracy krajowej i międzynarodowej przy realizacji projektów B+R!**





# Roboty ratujące ludzkie życie



---

**Piotr Szynkarczyk**

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

Kontakt / [PiotrSzynkarczyk@piap.pl](mailto:PiotrSzynkarczyk@piap.pl) / [www.piap.pl](http://www.piap.pl) / [www.antiterrorism.eu](http://www.antiterrorism.eu)

---



**W Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów PIAP w Warszawie, od lat 90. XX w. konstruowane są roboty do zastosowań specjalnych. Już kilkadziesiąt robotów sześciu typów służy w Polsce, drugie tyle za granicą. Łącznie wyprodukowano i sprzedano ponad 100 robotów. Krajowymi użytkownikami są m.in.: Policja, Wojsko Polskie, Straż Pożarna, Straż Graniczna, Biuro Ochrony Rządu. Te zaawansowane technologicznie urządzenia codziennie zastępują ludzi w pełnieniu obowiązków służbowych, chroniąc ich życie i zdrowie.**

W ostatnich latach przyspieszył rozwój robotów do rozpoznania i likwidacji zagrożeń terrorystycznych (niebezpieczne substancje, improwizowane ładunki wybuchowe itp.). Początkowo były to bardzo proste urządzenia opracowane przy osobistym zaangażowaniu pirotechników. Później prace te zostały zinstytucjonalizowane, dzięki temu konstrukcje robotów są bardziej zaawansowane. Przez wiele lat kształt tych konstrukcji był ograniczony uwarunkowaniami technicznymi. W wyniku dalszego, trwającego nadal rozwoju, roboty mają już funkcjonalności w coraz większym stopniu zaspokajające potrzeby użytkowników.

Historia robotów pirotechnicznych polskiej produkcji rozpoczęła się w 1999 r., kiedy opracowano w PIAP prototyp robota Inspector. Od 2000 r. w roboty te są sukcesywnie wyposażane oddziały pirotechniczne polskiej policji oraz wojska.



Typowym zastosowaniem robota Inspector jest rozbrajanie i usuwanie terrorystycznych ładunków wybuchowych. Możliwości tego robota oraz jego adaptacji do różnorodnych zadań pozwalają na użytkowanie go przez oddziały prewencji oraz grupy antyterrorystyczne policji, oddziały inżynierjno-saperskie i chemiczne wojska oraz straż graniczną czy stacje ratownictwa górniczego. Sukces robotów klasy Inspector zachęcił konstruktorów PIAP do zaprojektowania i wdrożenia nowego robota Expert.



Inspector

Zakres zastosowań robota Expert jest praktycznie taki sam, jak poprzednika, niemniej Expert został zaprojektowany z myślą o stosowaniu go w małych przestrzeniach, gdzie większy Inspector nie mógłby wjechać. Takie przestrzenie to przede wszystkim środki transportu – samoloty, autobusy, pociągi oraz małe pomieszczenia. Założenie o pracy wewnątrz środków transportu, a przede wszystkim w samolotach, narzuciło ostre wymagania co do rozmiarów bazy mobilnej (mała) oraz samego manipulatora (duży).

Nowe zastosowania robotów do zastosowań specjalnych i nowe wymagania pojawiły się na początku XXI w. wraz z konfliktami w Afganistanie i w Iraku. Dotychczasowa strategia zakładała stosowanie robotów skomplikowanych i drogich. Do 2004 r. w Afganistanie i w Iraku armia amerykańska stosowała 162 roboty, które wzięły udział w 11 000 akcji.

Okazało się jednak, że te drogie konstrukcje stały się celem ataków terrorystycznych. Ponadto stwierdzono, że prócz ceny zakupu istotny jest też czas szkolenia operatora oraz bieżący serwis. Po zrewidowaniu strategii, do października 2008 r. liczba robotów będących w czynnym użyciu przekroczyła 6000 sztuk.



Robot Expert

Konstrukcje robotów uproszczyły się. Dotychczas przy projektowaniu robotów priorytetem była jak największa funkcjonalność, przy marginalnym traktowaniu kwestii ekonomicznych i ergonomicznych. W dużej mierze technika i technologia dyktowały ostateczny kształt urządzenia. W opozycji do tego podejścia, nowe konstrukcje zostały bardzo ściśle zoptymalizowane pod kątem kosztów zakupu i prostoty serwisu. Jednocześnie zostały zaprojektowane tak, aby spełniały funkcje, których od nich oczekiwał użytkownik – i nic więcej. Także w Polsce opracowano roboty odpowiadające nowym wymaganiom. Są to dwa roboty konstrukcji PIAP – PIAP Scout® i Ibis®.

PIAP Scout® to robot przeznaczony do szybkiego rozpoznania terenu i miejsc trudnodostępnych, jak podwozia pojazdów, gruzowiska, szyby wentylacyjne, miejsca pod fotelami w środkach transportu i wąskie pomieszczenia. Został zaprojektowany z myślą o wyposażeniu jednostek specjalnych wojska i policji. Duża szybkość poruszania i solidna, modułowa konstrukcja o małej masie i gabarytach sprawiają, że PIAP Scout® znakomicie wspiera duże roboty, które z powodu swoich wymiarów i masy w pewnych sytuacjach nie mogą zastąpić człowieka.



PIAP Scout®



Taktyczny robot miotany TRM®

Taktyczny Robot Miotany TRM® to małe urządzenie do zastosowań wspomagających operacje prowadzone w trudno dostępnym i niebezpiecznym otoczeniu. PIAP TRM® eliminuje zagrożenia, jakie niesie ze sobą rozpoznanie terenu i obiektów prowadzone przez jednostki odpowiedzialne za bezpieczeństwo publiczne.



PIAP Gryf®

Ciekawą konstrukcją jest PIAP Gryf®. Ten robot powstał w odpowiedzi na zapotrzebowanie użytkownika na konstrukcję o określonych parametrach i funkcjonalnościach. Może być użyty do szybkiego rozpoznania terenu i miejsc trudnodostępnych. Jego unikatowe cechy charakterystyczne to modułowa budowa i łatwe konfigurowanie w celu przystosowania robota do potrzeb konkretnego zadania.

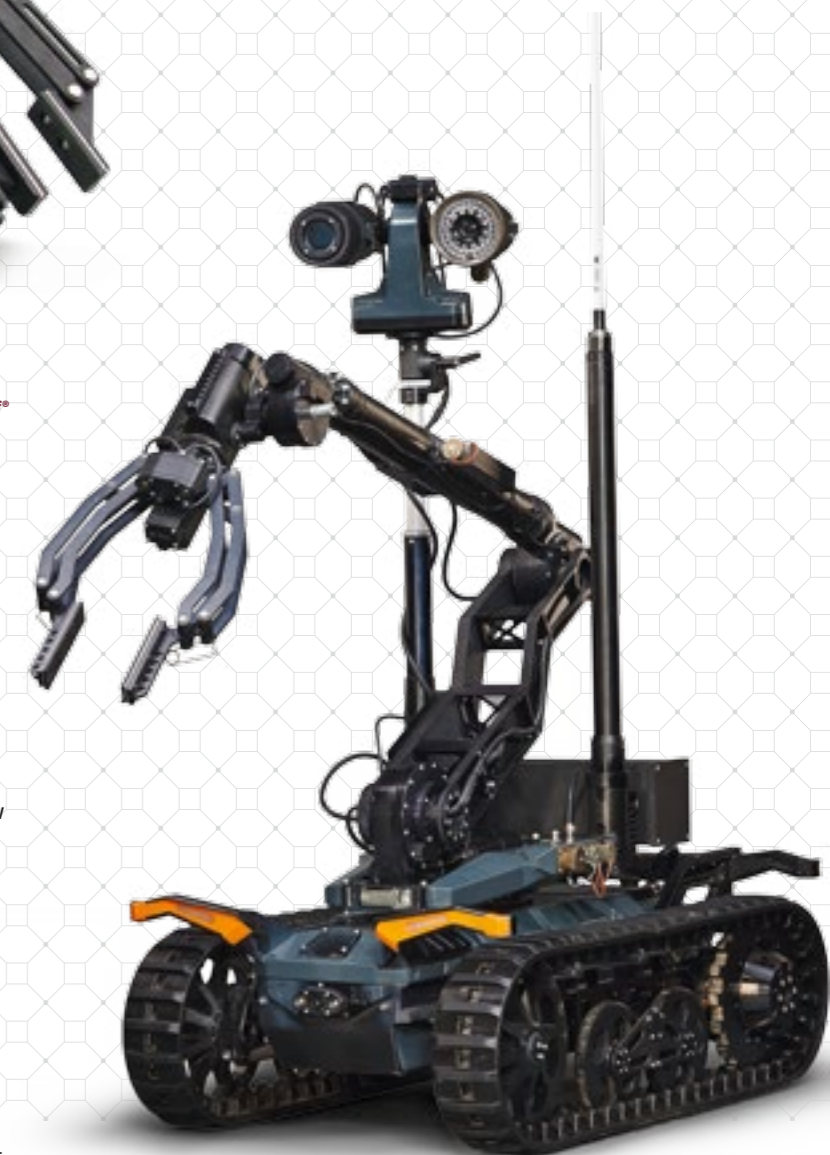
Ibis® to duży i szybki robot pirotechniczno-bojowy zaprojektowany do dynamicznych operacji w trudnym terenie. Robot ma platformę mobilną o napędzie sześciokołowym. Każde z kół ma niezależny napęd, a unikalna konstrukcja ruchomego zawieszenia z niezależnymi wahaczami zapewnia stabilność i kontakt wszystkich kół z podłożem podczas jazdy terenowej lub po płaskiej nawierzchni. Ibis® przystosowany jest do współpracy z wyrzutnikami pirotechnicznymi, czujnikami skażeń chemicznych i radioaktywnych, magistralą do zdalnej detonacji ładunków wybuchowych, systemem negocjacyjnym, nożycami do cięcia drutu, wiertarkami, urządzeniami rejestrującymi i bronią strzelecką. Ibis® może także wykonywać akcje gaszenia pożarów za pomocą prądownicy.

Ibis®



Konstruktorzy PIAP nie powiedzieli jeszcze ostatniego słowa. W przygotowaniu do wdrożenia znajduje się kilka nowych konstrukcji, m.in. robot klasy średniej opracowany w ramach projektu PROTEUS – ultranowoczesnego systemu przeznaczonego do działań antyterrorystycznych i antykrzysowych. Działania służb mają wspomagać m.in. trzy wielofunkcyjne roboty, samolot bezzałogowy oraz mobilne centrum dowodzenia. System jest w całości zintegrowany, co jest innowacją w skali światowej i stanowi poważne wyzwanie dla inżynierów pracujących przy projekcie.

Akcje prowadzone przez służby ratownicze i służby odpowiedzialne za bezpieczeństwo publiczne często wiążą się z utratą zdrowia a nawet życia osób biorących bezpośredni w nich udział. Dlatego jednym z robotów wchodzących w skład systemu PROTEUS jest robot interwencyjny. Robot będzie mógł zastępować lub wspomagać człowieka w najbardziej niebezpiecznych zadaniach, np. przy neutralizacji ładunków wybuchowych.



Robot interwencyjny (projekt Proteus)

# TALOS – roboty na granicę



---

**Agnieszka Sprońska**

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

Kontakt / [aspronska@piap.pl](mailto:aspronska@piap.pl) / [www.talos-border.eu](http://www.talos-border.eu) / Identyfikator konkursu: FP7-SEC-2007-3.2-02

---

TALOS (Transportable, Autonomous Patrol for Land Border Surveillance System) to międzynarodowy projekt badawczy, współfinansowany ze środków 7 Programu Ramowego Badań i Rozwoju Technologicznego Unii Europejskiej (7PR) w obszarze „Inteligentny nadzór i bezpieczeństwo granic”.



Całkowity budżet projektu wyniósł niemal 20 mln euro, 13 mln z tej kwoty pochodziło ze środków Komisji Europejskiej, (7PR, priorytet „Bezpieczeństwo”). Koordynatorem projektu był Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, zaś konsorcjum projektu objęło 14 organizacji z obszaru przemysłu, sfery badawczo-rozwojowej oraz szkolnictwa wyższego z 10 różnych krajów (Belgia, Estonia, Finlandia, Francja, Grecja, Hiszpania, Izrael, Polska, Rumunia, Turcja). Ustanowiło to projekt TALOS największym w Polsce i jednym z najważniejszych w Europie projektów z dziedziny bezpieczeństwa.

Projekt rozpoczął się w czerwcu 2008 r. a jego realizacja zakończyła się w maju 2012 r. Uwieńczeniem czterech lat pracy konsorcjum TALOS jest demonstrator technologii, który został zaprezentowany 18 kwietnia 2012 r. na terenie poligonu ćwiczebnego Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych (WSOWL) we Wrocławiu.

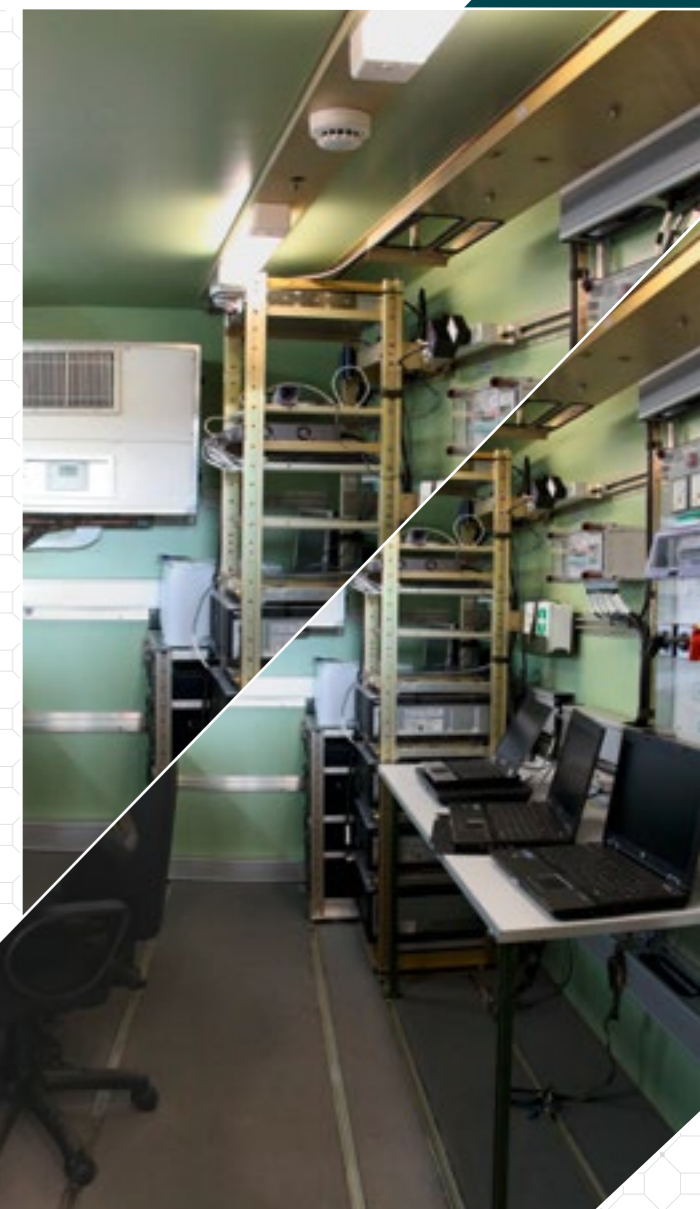


## Zagadnienia badawcze w projekcie TALOS

System TALOS, opracowany w ramach projektu, bazuje na najnowszych rozwiązaniach z obszaru robotyki mobilnej, komunikacji oraz sensoryki. Jego celem jest pomoc w wykrywaniu, śledzeniu i przechwytywaniu osób usiłujących bezprawnie przekroczyć granicę, omijając punkty kontroli granicznej. Istotą koncepcji systemu TALOS jest duża mobilność, oparta na zagadnieniach z zakresu autonomii i wykorzystująca bezzałogowe platformy – roboty, które mogą samodzielnie wykonywać szereg zadań związanych z obserwacją terenu i wykrywaniem zdarzeń.

Koncepcja operacyjna i architektura systemu zakłada wykorzystanie bezzałogowych pojazdów naziemnych UGV (Unmanned Ground Vehicle) w co najmniej dwóch różnych konfiguracjach. UGV Observer stale patroluje granicę, podczas gdy UGV Interceptor służy do śledzenia ewentualnego intruza przed przybyciem funkcjonariuszy na miejsce zdarzenia.

W skład systemu mogą zostać również włączone bezzałogowe samoloty UAV (Unmanned Air Vehicle) oraz Maszty Czujników, które są stosowane na obszarach o utrudnionym dostępie dla pojazdów naziemnych (np. bagna, góry). Kontrola nad działaniem wszystkich elementów odbywa się w Centrum Dowodzenia Jednostkami Bezzałogowymi UGCC (Unmanned Units Command Centre).



Prace badawcze w projekcie skoncentrowane były na trzech głównych komponentach systemu, w następujących obszarach:

### Bezzałogowe pojazdy

- autonomia działania, w tym mapowanie i lokalizacja pojazdu,
- nawigacja z i bez systemu GPS,
- sztuczna inteligencja i podejmowanie decyzji (np. samodzielne omijanie przeszkód),
- dynamiczne planowanie ścieżki pojazdu,
- fuzja danych z sensorów (Video, Radar, Laser),
- zarządzanie osprzętem pokładowym.

### Dowodzenie i sterowanie

- świadomość sytuacyjna, jedna mapa operacyjna z wykorzystaniem danych z wielu systemów bezzałogowych,
- planowanie misji dla różnych systemów bezzałogowych,
- generowanie modeli 3D map/terenu z wielu źródeł.

### Komunikacja

- technologie i systemy komunikacyjne (w tym sieci MESH i technologia WiMAX),
- zestawienia nowych protokołów komunikacyjnych.

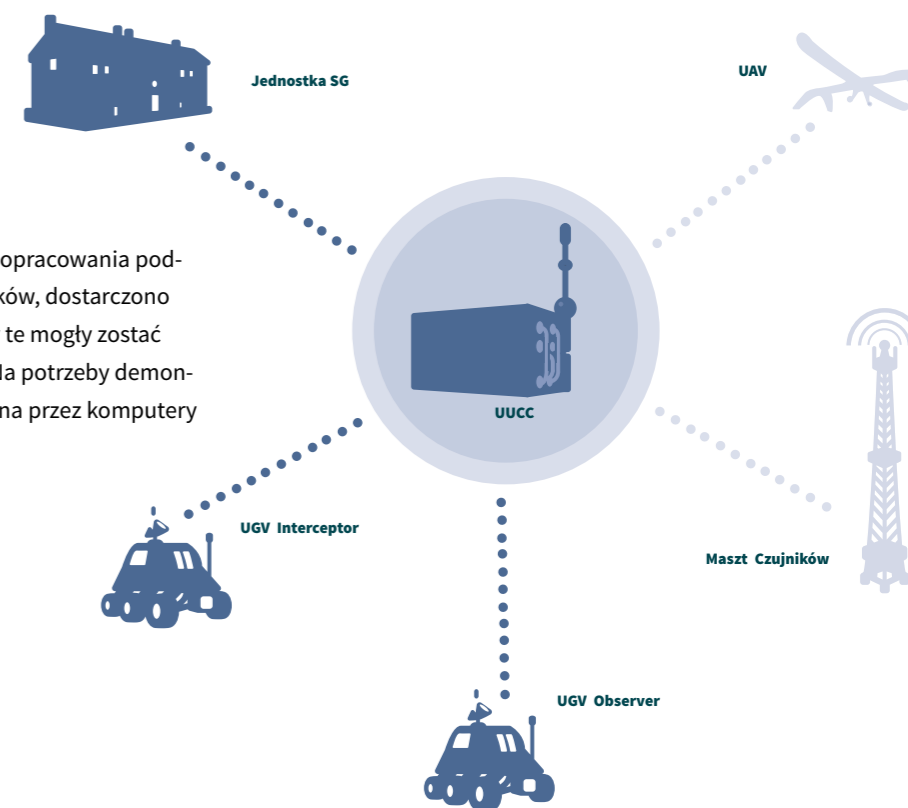
## Demonstrator systemu TALOS

Demonstrator systemu składa się z Centrum Dowodzenia Jednostkami Bezzałogowymi i dwóch jednostek UGV – Observer i Interceptor. Pierwszy pojazd (UGV Observer) wyposażony jest w zestaw nowoczesnych urządzeń nawigacyjnych i czujników (system nawigacji inercyjnej, DGPS, skanery laserowe, sensor elektrooptyczny, radar Dopplera), co umożliwi mu autonomiczne poruszanie się i wykrywanie podejrzanych zdarzeń. Drugi z pojazdów (UGV Interceptor), oprócz autonomii jazdy, pozwala operatorowi na komunikację z wykrytym osobnikiem za pomocą mikrofonu i głośnika.

Umieszczone w Centrum Dowodzenia Jednostkami Bezzałogowymi konsole operatorskie służą dowódcy i operatorom jednostek bezzałogowych, do zarządzania misją i pojazdami, zarówno w trybie autonomicznym jak i teleoperacji. Na ekranach obydwu konsoli przez cały czas dostępne są odczyty danych ze wszystkich czujników, umieszczonych na robotach. Komunikacja między poszczególnymi elementami systemu możliwa jest dzięki wykorzystaniu sieci WiMAX, pozwalającej na szybki przesył dużej ilości danych – zarówno na zbieranie informacji z sensorów, jak i wydawanie komend bezzałogowcom.



Ponieważ projekt nie obejmował pełnego opracowania podsystemów UAV i mobilnego Masztu Czujników, dostarczono jedynie stosowne interfejsy, aby elementy te mogły zostać zintegrowane z systemem w przyszłości. Na potrzeby demonstracji komunikacja z nimi była symulowana przez komputery w Centrum Dowodzenia.



Architektura Systemu TALOS

### Partnerzy projektu

| Nr | Partner   | Kraj |
|----|---|------|
| 1  | Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP (koordynator)   |      |
| 2  | ASELSAN Elektronik Sanayi ve Ticaret A.S. – ASELSAN             |      |
| 3  | European Business Innovation & Research Center S.A. – EBIC      |      |
| 4  | Hellenic Aerospace Industry S.A. – HAI                          |      |
| 5  | Israel Aerospace Industries – IAI                               |      |
| 6  | ITTI Sp. z o.o. – ITTI  |      |
| 7  | Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales – ONERA |      |
| 8  | Defendec – DF   |      |
| 9  | Société Nationale de Construction Aérospatiale – SONACA         |      |
| 10 | STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. – STM     |      |
| 11 | Telekomunikacja Polska SA – TP                                  |      |
| 12 | TTI Norte S.L. – TTI  |      |
| 13 | Technical Research Centre of Finland – VTT                      |      |
| 14 | Poli technika Warszawska – WUT                                  |      |



Technologia odzysku  
metali z odpadów  
zużytego sprzętu  
elektrycznego  
i elektronicznego



---

**Jakub Szalatkiewicz**  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP  
Kontakt / [jszalatkiewicz@piap.pl](mailto:jszalatkiewicz@piap.pl) / [www.piap.pl](http://www.piap.pl)

---



**W Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów PIAP w Warszawie opracowana została plazmowa technologia umożliwiająca skuteczny odzysk metali, w tym metali szlachetnych z odpadów elektronicznych i elektrycznych obwodów, a także małych urządzeń Zużytego Sprzętu Elektrycznego i Elektronicznego – ZSEE.**

Opracowana technologia umożliwia przetwarzanie odpadów bez potrzeby ich przemiału, bezpośrednio po ich wydzieleniu z urządzeń ZSEE. Proces jest realizowany w kilku krokach.

Odpady podawane są przez gazoszczelny podajnik do komory reaktora, w której pod wpływem panującej w nim temperatury rzędu 1600 °C i działania trzech strumieni plazmy wytwarzanych w plazmotronach, odpady ulegają spaleniowi i stopieniowi. Topione metale wraz ze stopionym żużlem spływają do formy, z której są odbierane jako produkt finalny. Spaliny, po opuszczeniu komory reaktora plazmowego, są dopalane w komorze dopalania i trafiają do układu oczyszczania spalin zapewniającego spełnienie wymaganych standardów emisyjnych.

#### **Główne produkty procesu to:**

- metaliczny stop zawierający metale wytopione z odpadów wraz z metalami szlachetnymi,
- stopiony żużel,
- ciepło.



Odcinek metalicznego stopu uzyskanego z odpadów elektronicznych obwodów drukowanych

Metaliczny stop ma różny skład, w zależności od składu wejściowego odpadów, od 65 % do 90 % miedzi Cu, ponadto znajduje się w nim srebro Ag, złoto Au, pallad Pd, cyna Sn i ołów Pb. Skuteczność odzysku metali z odpadów sięga 76 %. Żużel stanowi neutralny dla środowiska odpad z procesu, który w zależności od zawartości tlenków metali jak żelazo Fe, cyna Sn, ołów Pb. Żużel może zostać wykorzystany w procesach produkcji metali z surowców pierwotnych w istniejących zakładach. Z kolei ciepło może zostać zagospodarowane na potrzeby ogrzewania obiektów.

Zużycie energii w opracowanym procesie wynosi 2–2,6 kWh/kg przetwarzanych odpadów, dodatkowo w procesie zużywane jest do 20 m<sup>3</sup>/h sprężonego powietrza.

W Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów PIAP w Warszawie znajduje się demonstrator opracowanej technologii umożliwiający wykonanie prób i badań, a także prezentację opracowanej technologii. Za pomocą demonstratora można badać proces przetwarzania i odzysku metali z odpadów w skali do 800 kg/dobę. Stanowisko demonstratora jest zautomatyzowane i opomiarowane, umożliwiając sterowanie procesem za pomocą oprogramowania typu SCADA z ekranu komputera.

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP jest zainteresowany wdrożeniem opracowanej technologii w zakładach przetwarzania ZSEE. Wykonany demonstrator o mocy przerobowej 0,8 Mg odpadów elektronicznych na dobę pokrywa się z potrzebami przerobu odpadów w 9 na 16 polskich województw.



Korzyści ekonomiczne związane z eksploatacją oferowanej technologii wynikają z przetworzenia odpadów ZSEE, odzysku metali i ich wartości rynkowej (średnio 25 % masy odpadów to metale, w tym Au, Pd, Cu, Ag, które stanowią około 92 % wartości uzyskiwanego stopu) oraz odzysku energii cieplnej z procesu.

Z punktu widzenia środowiska, zastosowanie opracowanej technologii pozwala na znaczącą redukcję masy – do 40 % masy wejściowej odpadów, a także znaczącą redukcję objętości odpadów – do 10 % ich objętości wejściowej.



**Opracowana technologia odzysku metali z odpadów zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego została wyróżniona nagrodą w konkursie Panteon Polskiej Ekologii w 2013 r.**

\_Szewczyk R., Szalatkiewicz J., Budny E., Missala T., Winiarski W., Identyfikacja wybranych parametrów plazmotronowego reaktora plazmowego, Pomiary Automatyka Robotyka, 11/2012, 68-72.  
\_Szewczyk R., Szalatkiewicz J., Budny E., Missala T., Winiarski W., Construction aspects of plasma based technology for WEEE management in urban areas, Procedia Engineering, Modern Building Materials, Structures and Techniques, Vol. 57, 2013, 1100-1108.

Robotyzacja  
ukosowania blach  
Blachy przykrojone  
na miarę



---

**Zbigniew Pilat**  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP  
Kontakt / [ZbigniewPilat@piap.pl](mailto:ZbigniewPilat@piap.pl)

---

**Technologia zrobotyzowanego ukosowania blach metodą cięcia plazmowego jest z powodzeniem stosowana w procesie produkcji elementów konstrukcyjnych obudów wyrobisk górniczych, wykonanych z blach grubych, przeznaczonych do łączenia za pomocą spawania łukowego. Można oczekiwać, że zastosowana w innych branżach – w produkcji pojazdów ciężkich i maszyn budowlanych, w przemyśle stoczniowym w wytwarzaniu taboru kolejowego, okaże się równie efektywna.**

Produkcja konstrukcji stalowych zaczyna się od wycinania elementów z blach, rur lub kształtowników. Następnie elementy te są łączone w procesie spawania. Ważnym etapem, wpływającym na jakość spoin, ich wytrzymałość i trwałość, jest przygotowanie elementów przeznaczonych do spawania. Jedną z operacji technologicznych, stosowanych przy łączeniu detali o grubości ścianki przekraczającej 3 mm jest ukosowanie (fazowanie) ich krawędzi. Tradycyjnie czynność ta jest wykonywana ręcznie, różnymi metodami cięcia termicznego. Powszechnie stosowane są tzw. sekatory, przyrządy ułatwiające prowadzenie palnika.

Tak realizowany proces jest bardzo pracochłonny, a jego jakość często nie jest zadowalająca. Szczególnie w miejscach przejścia z fazy prostoliniowej na odcinek łuku lub w drugą stronę, parametry geometryczne fazy są zaburzone, nierzadko pojawiają się wżery. Detal fazowany ręcznie musi być w kolejnej operacji doczyszczany, wyrównywany. Wydłuża to czas procesu ręcznego ukosowania. Na obniżenie jego efektywności wpływają dodatkowe czynności związane z obróbką kolejnych krawędzi – przekładanie detalu, zmienianie sposobu mocowania. Na stanowiskach ukosowania ręcznego panują bardzo trudne warunki pracy, operator znajduje się bezpośrednio przy płomieniu. Narażony jest na wdychanie niebezpiecznych dymów i oparów, na hałas, na poparzenia odpryskami i rozgrzanym detalem. Częste przekładanie detali grozi przygnieciem.

## Zautomatyzowane ukosowanie blach

Operacja ukosowania jest często wąskim gardłem w procesie produkcji konstrukcji stalowych. Dlatego od lat podejmowane są próby jej zautomatyzowania. W przenośnych urządzeniach ukosujących, przeznaczonych do obróbki rur, stosowane jest zwykle cięcie mechaniczne.

Do ukosowania detali w hali – w produkcji seryjnej stosuje się maszyny CNC, np. klasyczne wypalarki wyposażone w głowice umożliwiające ukosowanie lub specjalizowane maszyny CNC do ukosowania. Głowica ukosująca ma tu dwa lub trzy sterowane stopnie swobody, co umożliwia ustawienie bardzo precyzyjnego kąta dla faz przestrzennych.

Najwyższym szczeblem rozwoju technologii ukosowania jest budowa specjalnych stanowisk zrobotyzowanych. Technologia zrobotyzowana zapewnia wysoką i bardzo stabilną jakość wykonywanych cięć. Stanowiska zrobotyzowane dają również zdecydowanie wyższą wydajność. Dodatkowo odsunięcie operatora od procesu praktycznie likwiduje znaczną część zagrożeń w obszarze bezpieczeństwa pracy.

## Zrobotyzowane stanowisko ukosowania z cięciem plazmowym

Technologia plazmowa zapewnia najwyższą jakość i wydajność cięcia stali o grubości od kilku do kilkudziesięciu milimetrów. Opracowane zrobotyzowane stanowisko ukosowania wykorzystujące cięcie plazmowe zawiera następujące urządzenia:

- robota przemysłowego,
- zestaw plazmowy,
- szafę sterowniczą,
- pulpit operatora stanowiska,
- dwa stoły robocze – lewy i prawy,
- przejezdną kabinę ochronną,
- dwa żurawiki – obsługujące odpowiednio stół lewy i prawy,
- system wentylacyjny.



Najważniejszym urządzeniem stanowiska jest robot posadowiony między dwoma stołami roboczymi wentylowanymi od dołu. Wzdłuż stanowiska biegnie torowisko, po którym porusza się kabina ochronna (czapuch). Ściany boczne kabiny są wykonane z pełnego materiału, zapewniając wygłuszenie hałasu powstającego podczas cięcia plazmowego. Obie frontowe ściany kabiny są zamykane drzwiami wypełnionymi lamelami spawalniczymi.

Po zamknięciu drzwi kabiny są blokowane rygłem. Specjalny czujnik zamontowany obok rygła informuje układ sterowania, czy drzwi są zamknięte. Robot nie zacznie pracy automatycznej, jeżeli drzwi z obu stron czopucha nie są zamknięte. Podobnie, jeżeli podczas pracy automatycznej drzwi zostaną otworzone, robot przerwie pracę i wyłączy zestaw plazmowy. Na wszystkich czterech rogach kabiny zainstalowano zestawy sygnalizacyjne – trójkolorowe wieże sygnalizacyjne, sygnalizatory dźwiękowe z lampkami ostrzegawczymi i przyciski STOP AWARYJNY. Do zestawów sygnalizacyjnych dołączone są wyłączniki typu zderzak, zamontowane na każdym rogu kabiny (pomalowane w żółto-czarne pasy). Mają one ostrzegać pracowników w hali oraz zabezpieczać kabinę przed ewentualną kolizją podczas jej przejazdu po torowisku.



Na ścianie za kabiną zainstalowany jest pulpit operatorski. Pracę stanowiska nadzoruje układ sterowania umieszczony w oddzielnej szafie, zawierający m.in.:

- sterownik PLC zarządzający pracą stanowiska,
- sterownik bezpieczeństwa nadzorujący elementy bezpieczeństwa całego stanowiska,
- dwa sterowniki napędów przesuwu kabiny.

Na stanowisku znajduje się agregat wentylacyjny. Ma on własne sterowanie i jest osobno załączany. Agregat oczyszcza powietrze zasysane od dołu spod rusztów stołów roboczych oraz od góry przez otwór w dachu kabiny. Podczas pracy automatycznej stanowiska, operator ogranicza się do zakładania nowych detali, zdejmowania detali pofazowanych i nadzorowania pracy instalacji. Palnik plazmowy prowadzi robot. Zaprogramowana trajektoria ruchu narzędzia tnącego gwarantuje cięcie blachy wzdłuż krawędzi, pod wymaganym kątem.

## Efekty robotyzacji ukosowania blach

Generalnie korzyści z zastosowania technologii zrobotyzowanego ukosowania blach z cięciem plazmowym można podsumować w trzech grupach:

**Wzrost wydajności** – skrócenie czasu przezbrajania, możliwość fazowania z dołu i z góry w jednym zamocowaniu detalu, szybszy proces cięcia, krótki czas inicjowania procesu.

**Stabilizacja jakości na wysokim poziomie** – znaczna poprawa jakości wykonywanych faz dzięki pewnemu, dokładnemu prowadzeniu palnika przez robota, głównie na łukach oraz na przejściach łuk-prosta, stała szerokość fazy zarówno na odcinkach prostych jak i krzywoliniowych, powtarzalność wykonania faz na kolejnych detalach, znakomita jakość powierzchni po cięciu plazmowym.

**Poprawa warunków pracy** – oddalenie operatora od procesu cięcia termicznego metalu powoduje zmniejszenie zagrożeń poparzeniami, wynikających z wdychania oparów i tlenków metali oraz związanych z hałasem.

## Podsumowanie

Liczne zalety technologii zostały potwierdzone w pierwszej aplikacji – zrobotyzowanym stanowisku ukosowania blach za pomocą cięcia plazmowego, wdrożonym przez Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP w zakładzie w zakładzie TAGOR SA w Tarnowskich Górach. Zasięg zastosowanego robota pozwala wykonywać ukosowanie na stołach o polu roboczym 1600 mm × 3200 mm. Stosowany mechanizm kontroli odległości palnika od ukosowanego detalu gwarantuje zachowanie stałej szerokości fazy przy deformacjach lub odkształceniach termicznych detalu.

Wysoki poziom techniczny opracowanej technologii został doceniony podczas licznych konkursów, prezentacji i wystaw. W 2013 r. zespół realizatorów otrzymał I Nagrodę Prezesa Rady Ministrów za osiągnięcia naukowo-techniczne. Poziom naukowy oraz innowacyjność przedstawianej technologii potwierdzają zgłoszenia patentowe oraz liczne publikacje.

# Regulator dla wielowymiarowego układu z opóźnieniem transportowym



---

**Jerzy Kurek**  
Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Robotyki  
Kontakt / [jkurek@mchtr.pw.edu.pl](mailto:jkurek@mchtr.pw.edu.pl)

---

**Projektując przemysłowe układy regulacji (np. w cukrowniach, elektrowniach) mamy do czynienia z układami z opóźnieniami transportowymi w torze sterowania. W takim układzie po zmianie sygnału sterującego sygnał wyjściowy układu zaczyna zmieniać się dopiero po czasie opóźnienia.**

### Przemysłowe układy regulacji

Wiadomo, że dla układu z opóźnieniem znacznie trudniej zaprojektować asymptotycznie stabilny układ regulacji, niż dla układu bez opóźnienia. W praktyce przemysłowej stosowane są zwykle regulatory PID. Projektując układ regulacji PID potrafimy zrealizować asymptotycznie stabilny układ regulacji dla jednowymiarowego układu regulacji – jeden sygnał wejściowy i jeden sygnał wyjściowy z opóźnieniem transportowym. W ten sposób nie można zrealizować układu regulacji dla układu wielowymiarowego – wiele sygnałów wejściowych i wiele sygnałów wyjściowych z opóźnieniami transportowymi.

W praktyce przemysłowej, w miarę możliwości, problem ten rozwiązuje się tak, że dla układu wielowymiarowego realizuje się kilka jednowymiarowych układów regulacji PID. Taki układ regulacji działa poprawnie, ale nie jest układem optymalnym; jest to szczególnie widoczne, gdy w układzie występują duże opóźnienia. W takich przypadkach, aby uzyskać lepszą jakość regulacji, można zastosować regulator dla układu z opóźnieniem transportowym.

### Regulator dla układu z opóźnieniem transportowym

Analizując problem regulacji dla wielowymiarowych układów regulacji opracowano wielowymiarowy regulator dla wielowymiarowego układu z opóźnieniami transportowymi. Model układu można opisać transmitancją:

$$y(s) = G(s)u(s) + w(s)$$

gdzie

$$G(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & \dots & G_{1m}(s) \\ \vdots & & \vdots \\ G_{p1}(s) & \dots & G_{pm}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{011}(s)e^{-T_{011}s} & \dots & G_{01m}(s)e^{-T_{01m}s} \\ \vdots & & \vdots \\ G_{0p1}(s)e^{-T_{0p1}s} & \dots & G_{0pm}(s)e^{-T_{0pm}s} \end{bmatrix}$$

oraz

$$G_{ij}(s) = G_{0ij}(s)e^{-T_{0ij}s} = \frac{y_i(s)}{u_j(s)}$$

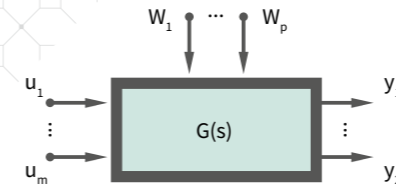
lub modelem w przestrzeni stanu

$$\dot{x}(t) = Ax + \sum_{l=1}^l B_l u(t - T_l) + w_x(t)$$

$$y(t) = Cx(t) + w_y(t)$$

gdzie  $x \in R^n$  jest wektorem stanu układu,  $u \in R^m$  wektorem sygnałów sterujących,  $y \in R^p$  wektorem sygnałów wyjściowych oraz  $w \in R^p$ ,  $w_x \in R^n$  i  $w_y \in R^p$  są wektorami sygnałów zakłóceń.

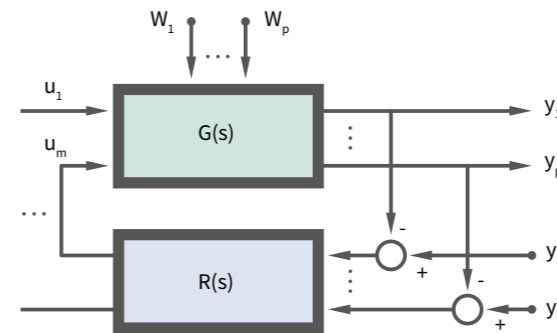
W rzeczywistych układach zakłócenie  $w$  jest zwykle nieznanne, niemierzalne, nawet jeżeli znany jest jego charakter, np. zakłócenie skokowe, sinusoidalne, to nieznaną jest jego wartość.



Schemat blokowy obiektu regulacji

Zakłócenia  $w$  działające na układ są niemierzalne, dlatego znając sygnał zadany  $y_r$  (skokowy, sinusoidalny), należy zaprojektować regulator  $R(s)$ , by sygnał wyjściowy układu  $y$  dążył do sygnału zadanego  $y_r$  przy zakłóceniach  $w$  o znanym charakterze (skokowe, sinusoidalne).

$$y_i(t) \rightarrow y_{ri}(t) \text{ gdy } t \rightarrow \infty, i = 1, \dots, p$$



Schemat blokowy układu regulacji

Rozwiązując tak sformułowany problem opracowano regulator dla układu z opóźnieniem transportowym. Regulator został zgłoszony do Urzędu Patentowego RP.

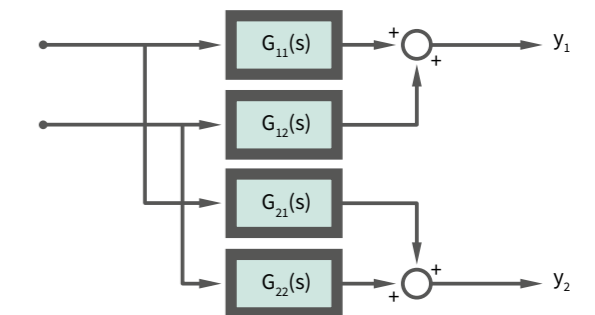
### Układ regulacji kolumny frakcjonującej oleju Shell

Kolumna frakcjonująca ciężkiego oleju Shell (*Shell heavy oil fractionator*) może być opisana prostym wielowymiarowym modelem z opóźnieniami transportowymi

$$G(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{k_{11}}{T_{11}s + 1} e^{-T_{011}s} & \frac{k_{12}}{T_{12}s + 1} e^{-T_{012}s} \\ \frac{k_{21}}{T_{21}s + 1} e^{-T_{021}s} & \frac{k_{22}}{T_{22}s + 1} e^{-T_{022}s} \end{bmatrix}$$

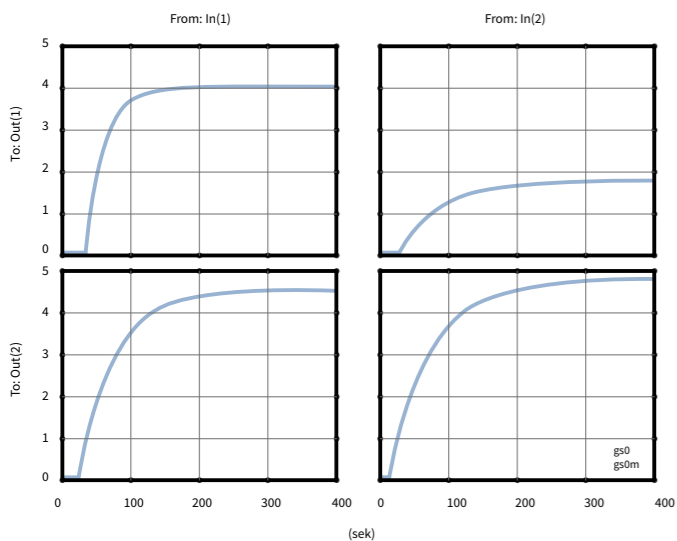
$$= \begin{bmatrix} \frac{4.05}{27s + 1} e^{-27s} & \frac{1.77}{60s + 1} e^{-28s} \\ \frac{5.39}{50s + 1} e^{-18s} & \frac{5.72}{61s + 1} e^{-14s} \end{bmatrix} \quad (1)$$

gdzie sygnały wyjściowe  $y$ : *top end point* oraz *side end point*, sygnały sterujące  $u$ : *top draw* oraz *side draw*.



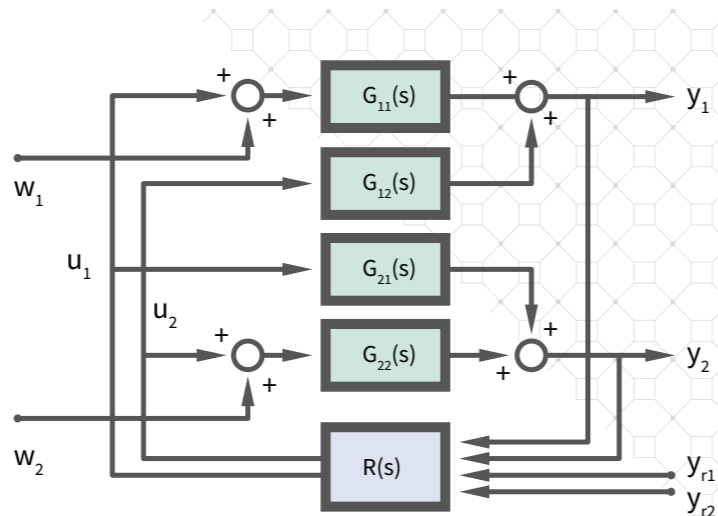
Schemat blokowy kolumny frakcjonującej ciężkiego oleju

Układ ma dwa sygnały sterujące i dwa sygnały wyjściowe. W torach sterowania układu występują cztery różne opóźnienia transportowe. W układzie występują silne sprzężenia skrośne i trudno zaprojektować dwa jednowymiarowe układy regulacji PID. Na kolejnej ilustracji przedstawiono odpowiedzi skokowe układu, wykresy zmiany sygnałów wyjściowych układu przy skokowej zmianie sygnałów sterujących. Widać, że odpowiedzi wyraźnie się różnią.



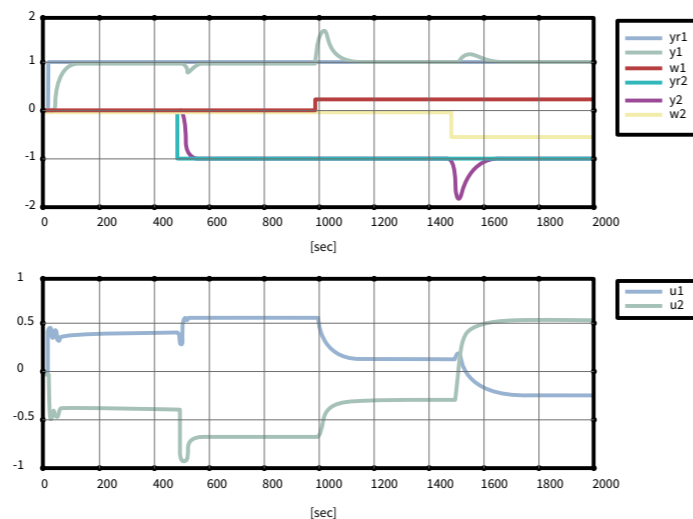
Odpowiedzi skokowe kolumny frakcjonującej ciężkiego oleju (1),  $G_{11}(s)$ ,  $G_{12}(s)$ ,  $G_{21}(s)$  i  $G_{22}(s)$

Dla układu z opóźnieniem zaprojektowano wielowymiarowy regulator zakładając, że sygnały zadane i zakłócenia są sygnałami skokowymi. Zamodelowano też układ regulacji przyjmując, że zakłócenia  $w_1$  oraz  $w_2$  są sygnałami niemierzalnymi.



Schemat blokowy układu regulacji kolumny frakcjonującej ciężkiego oleju

Niżej przedstawiono wyniki symulacji pracy układu regulacji kolumny frakcjonującej ciężkiego oleju. Układ regulacji działa poprawnie – sygnały wyjściowe po krótkim okresie przejściowym są równe sygnałom zadanim, a zakłócenia są kompensowane zmianą sygnałów sterujących.



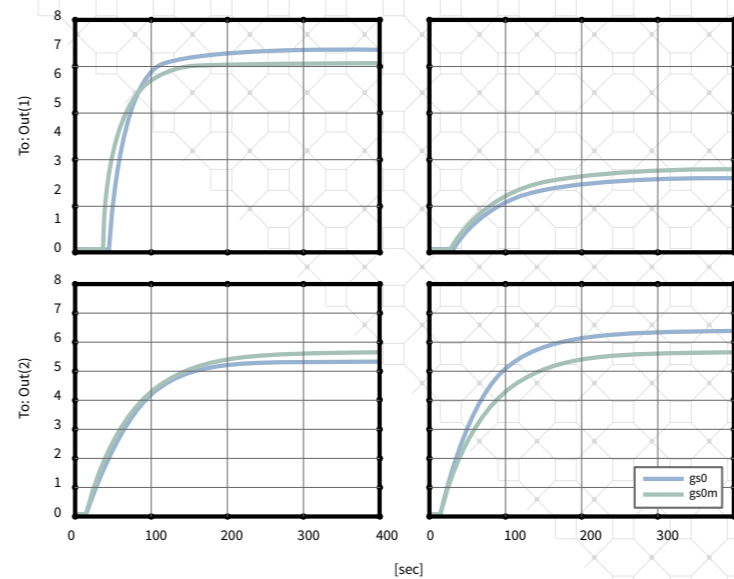
Wyniki pracy układu regulacji kolumny frakcjonującej ciężkiego oleju z regulatorem dla układu z opóźnieniem transportowym

Zamodelowano też pracę układu regulacji dla zmienionych parametrów obiektu regulacji – kolumny frakcjonującej ciężkiego oleju, które zmieniły się o 5–10 %:

$$G(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{k_{11}}{T_{11}s+1} e^{-T_{011}s} & \frac{k_{12}}{T_{12}s+1} e^{-T_{012}s} \\ \frac{k_{21}}{T_{21}s+1} e^{-T_{021}s} & \frac{k_{22}}{T_{22}s+1} e^{-T_{022}s} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{4,293}{28,62s+1} e^{-35.1s} & \frac{1,664}{67,2s+1} e^{-31.4s} \\ \frac{5,228}{48,5s+1} e^{-14.8s} & \frac{6,406}{53,68s+1} e^{-13.2s} \end{bmatrix} \quad (2)$$

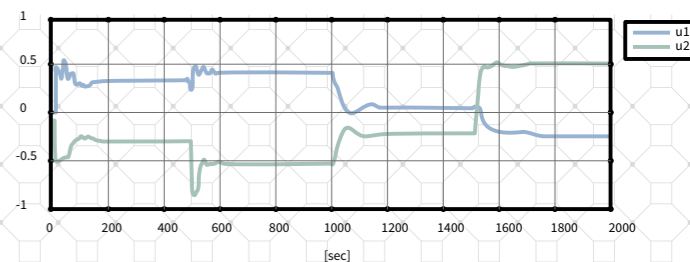
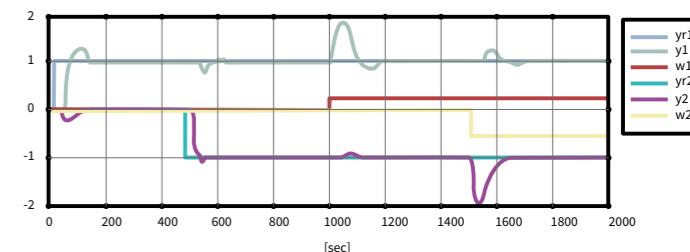
Przedstawione odpowiedzi skokowe modelu układu, dla którego dobrano regulator (1) (gs0m) i obiektu regulacji – kolumny frakcjonującej ciężkiego oleju ze zmienionymi parametrami (2) (gs0) pokazują różnice w zachowaniu obu układów.



Odpowiedzi skokowe kolumny frakcjonującej ciężkiego oleju (1) i kolumny zmienionej (2),  $G_{11}(s)$ ,  $G_{12}(s)$ ,  $G_{21}(s)$  i  $G_{22}(s)$

Układ regulacji (2) działa poprawnie w rzeczywistych warunkach, gdy model obiektu regulacji nie jest dokładnie znany. Parametry obiektu regulacji mogą zmieniać się w czasie – po latach pracy lub po remontach.

Przebiegi sygnałów układu regulacji są bardzo podobne do przebiegów układu niezmienionego (1) – sygnały wyjściowe po krótkim, ale nieco dłuższym okresie przejściowym są równe sygnałom zadanim, a zakłócenia są kompensowane przez zmianę sygnałów sterujących.



Praca układu regulacji kolumny frakcjonującej ciężkiego oleju o zmienionych parametrach z regulatorem dla układu z opóźnieniem transportowym

### Uwagi końcowe

Opracowany regulator dla układu z opóźnieniem w torze sterowania (serworegulator) działa poprawnie. Pozwala zaprojektować asymptotycznie stabilny układ regulacji dla wielowymiarowego układu z opóźnieniami transportowymi. Może być stosowany do układów jednowymiarowych, szczególnie układów z dużym opóźnieniem transportowym, gdzie trudno dobrać nastawy regulatora PID, zwykle występują tam nadmierne oscylacje.

Regulator może być stosowany przy realizacji układu regulacji automatycznej złożonych układów przemysłowych z opóźnieniami transportowymi – jest wyposażony w mechanizm anti-windup. Obecnie do takich zadań jest proponowany regulator predykcyjny, zdecydowanie trudniejszy do implementacji. Opracowany regulator dla układu z zakłóceniem transportowym został zgłoszony do Urzędu Patentowego RP.

\_Maciejowski J.M., Robustness of multivariable Smith predictors, Journal of Process Control, vol. 4, No. 1, 1994, 29–32.  
\_Prett D.M., Morari M. (eds), The Shell Process Control Workshop, Boston, Butterworth's, 1987.  
\_Boudreau M.A., Squared model predictive controller performance on the Shell standard control problem, Presented at ISA Expo 2003.

Wirtualne byty  
pomagają projektantowi  
w rzeczywistym  
świecie



---

**Wojciech Moczulski, Marcin Januszka**  
Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn  
Kontakt / [wojciech.moczulski@polsl.pl](mailto:wojciech.moczulski@polsl.pl) / [marcin.januszka@polsl.pl](mailto:marcin.januszka@polsl.pl)

---

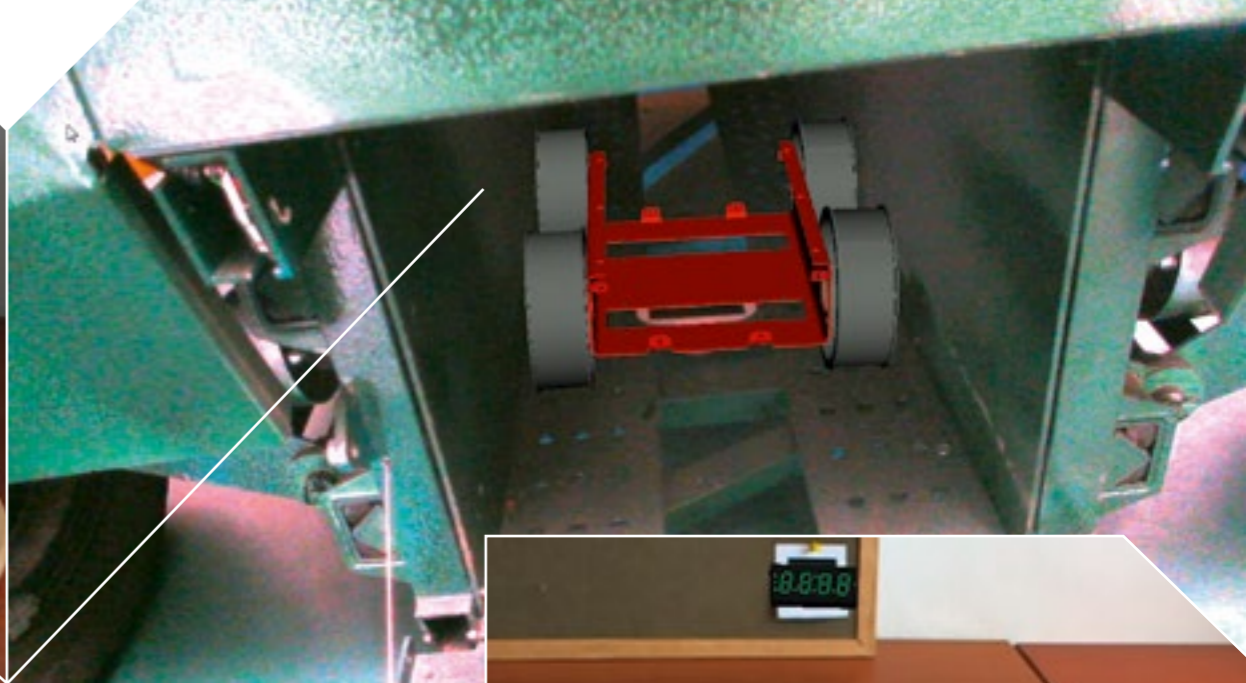


Wyjeżdżam z garażu. Kładę mój smartfon pod przednią szybą samochodu, skierowany ekranem do góry. Ruszam przed siebie. Uruchomiona aplikacja wyświetla na szybie dane o chwilowej prędkości jazdy, informuje o kolejnym manewrze, a nawet ostrzega, że właśnie przekraczam dopuszczalną prędkość. Technologie mobilne ułatwiają i uatrakcyjnijają codzienne życie, ale dostarczają też nowych funkcjonalności konstruktorom, inżynierom utrzymania ruchu.

Na biurku leży najnowszy numer miesięcznika naukowo-technicznego **Pomiary Automatyka Robotyka**. Uruchamiam na smartfonie aplikację PAR+, kieruję obiektyw na interesującą mnie stronę i na ekranie widzę dodatkowe obiekty (filmy, animacje, galerie zdjęć), których nie ma w papierowym wydaniu.

I wreszcie po tygodniu pracy wybrałem się na wycieczkę w góry. Znowu odwołuję się do smartfona – kieruję go na mijaną polanę i co widzę? Na tej polanie tańczą zbójnicy, a ja mogę z nimi wejść w różne interakcje.

Można się zastanawiać, czy to przypadkiem nie są czary? Nie, to efekty stosowania ultranowoczesnej technologii komputerowej, zwanej po angielsku Augmented Reality (AR). Mamy więc rzeczywistość, która nas otacza, ale jest uzupełniona przez dodatkowe WIRTUALNE obiekty. Nie ma wyświetlacza wmontowanego do szyby, nie pojawiają się dodatkowe strony ze zdjęciami podczas przeglądania czasopisma, a zbójnicy nie istnieją. Problemy pojawiają się nawet przy próbie przetłumaczenia nazwy angielskiej – Poszerzona rzeczywistość? Rozszerzona rzeczywistość? Wzbogacona rzeczywistość? Zauważmy, że jest tu błąd logiczny – czy rzeczywistość daje się poszerzyć? Wzbogacić? Rozszerzyć? Ale zostawmy ten problem do rozwiązania purystom językowym i umówmy się, że dalej będę pisał po prostu „AR”. Ta technologia coraz mocniej przenika nasze życie i wkrótce będzie wszechobecna w kontaktach człowieka z otoczeniem.



Z czego składa się system AR? Użytkownik wyposażony w odpowiedni sprzęt (tutaj wyświetlacz nagłowny HMD – ang. Head-Mounted Display) powinien obserwować środowisko rzeczywiste, w którym w określonych miejscach będą pojawiać się obiekty wirtualne „poszerzające” tę rzeczywistość. System komputerowy AR identyfikuje miejsce, na które spogląda użytkownik – oznaczone specjalnymi markerami, obserwowanymi za pomocą kamery, w którą wyposażony jest HMD. W miejsce markera „wstawiany” jest obiekt wirtualny (tutaj robot mobilny). Manipulowanie markerem umożliwia „manipulowanie” wirtualnym obiektem. Taką funkcję pełni rękawica, zapewniając sprzężenie konstruktora z projektowanym obiektem.

Technologia AR wspomaga też proces projektowania. Takie badania zapoczątkowaliśmy w 2006 r. w ówczesnej Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej. Współczesne projektowanie jest wspomagane komputerowo za pomocą systemów CAD. Zwykle projektowane obiekty są trójwymiarowe.



Współcześnie nie rozpoczynamy od typowych „płaskich” rysunków rzutowanych na trzech płaszczyznach, lecz modelujemy trójwymiarowy obiekt.

Wyobraźmy sobie projektowanie samolotu. Chcemy WEJŚĆ do kabiny tego samolotu, SPRAWDZIĆ, czy można łatwo schować bagaż i ZBADAĆ, czy określony przełącznik jest w odpowiednim miejscu. A jeśli coś nie zostało dobrze zaplanowane, to warto POKAZAĆ, gdzie ma być przełącznik, przewód wysokiego ciśnienia lub rączka pochylania fotela.

Ale jak to zrobić, skoro tego samolotu NIE MA? Na to pytanie odpowiadają środowiska wirtualnej rzeczywistości VR (ang. Virtual Reality), w których człowiek porusza się wyłącznie w wirtualnym świecie i jest odcięty od rzeczywistości.

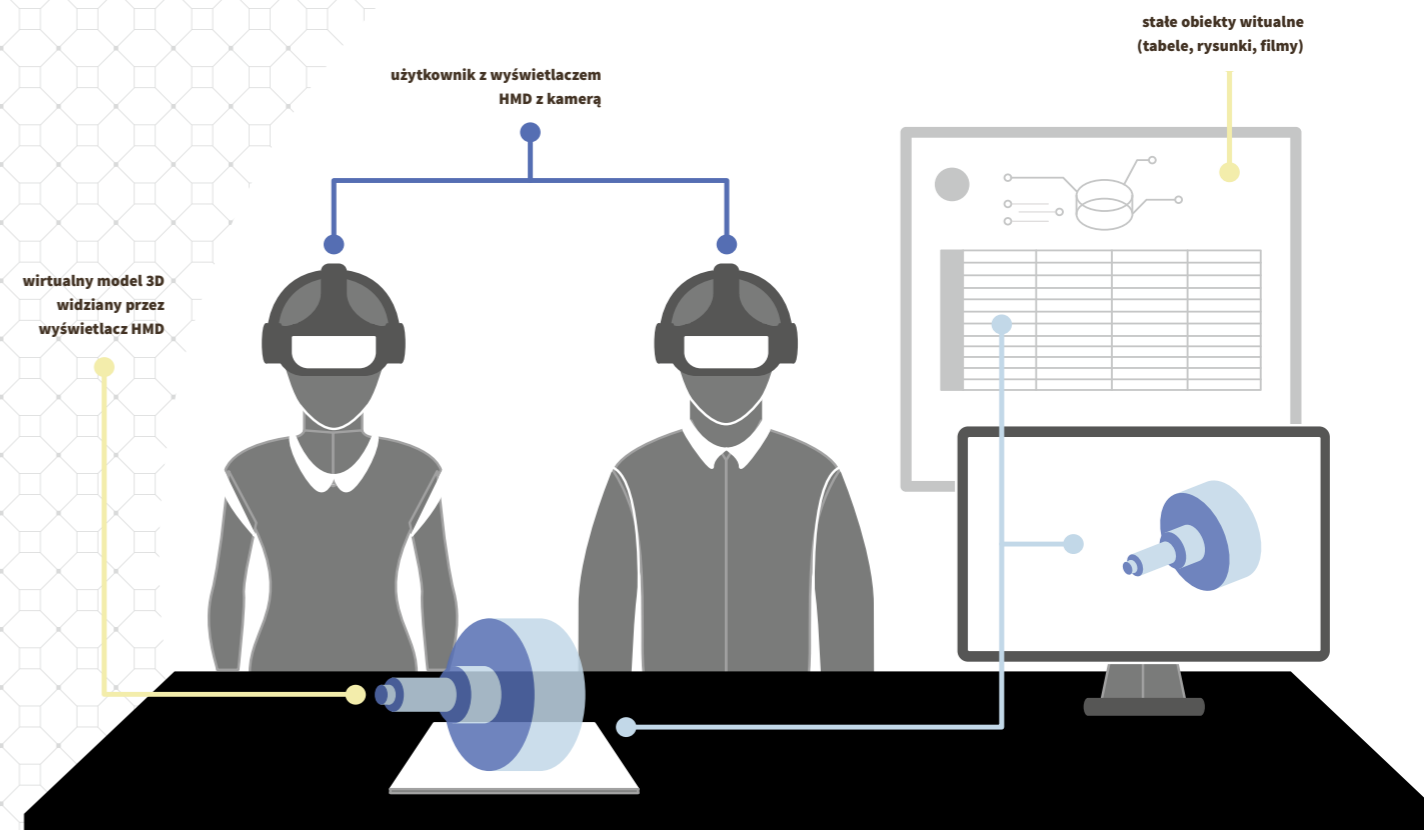
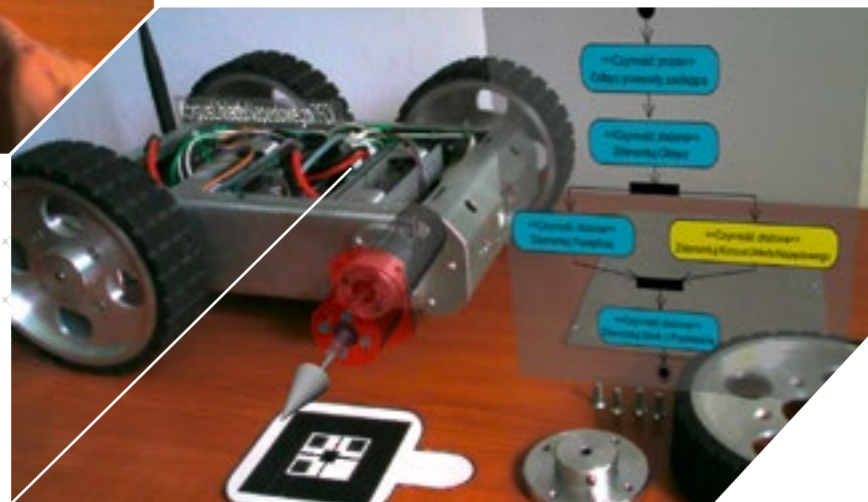
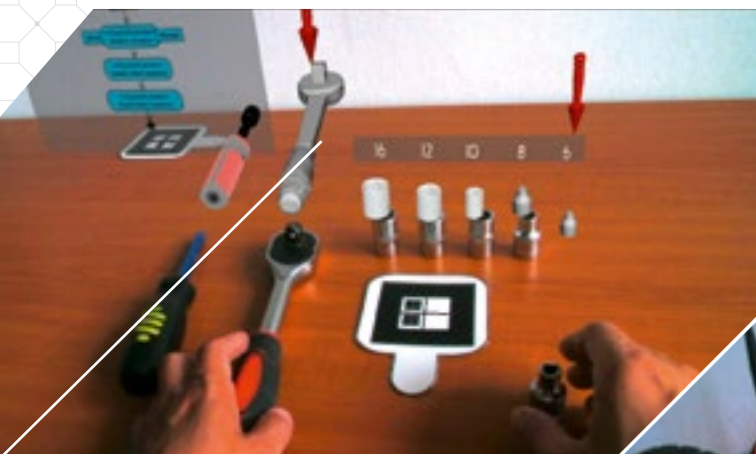


Nasze rozwiązanie w istotny sposób różni się od znanych rozwiązań systemów VR. Tutaj projektanci i konstruktorzy działają w rzeczywistym środowisku, w którym jedynie POJAWIAJĄ SIĘ obiekty wirtualne. Można więc dopasować robota wirtualnego do istniejącej ładowni robota rzeczywistego. System AR umożliwia także odpowiednie rozmieszczenie przełączników, przycisków, lampek sygnalizujących, zegarów itp. oraz ocenę ich czytelności.

Bardzo ciekawe zastosowania wiążą się z opracowywaniem instrukcji serwisowych. Nasz przykład dotyczy naprawy robota mobilnego, który ma uszkodzone jedno z kół. W tym celu należy zastosować odpowiednie narzędzia, które można wybrać z wirtualnej tablicy narzędzi. Tymi narzędziami należy wykonać odpowiednie operacje. Kolejność czynności została przedstawiona w formie schematu UML (ang. Universal Modeling Language) i odpowiednich animacji. Można sobie łatwo wyobrazić inne kanały przekazywania instrukcji, np. kanał dźwiękowy przekazujący instrukcje słowne. Obiekty wirtualne, objaśniające sposób realizacji kolejnych operacji, pojawiają się w odpowiednim miejscu (tuż przy tej części obiektu, której dotyczy działanie) i w odpowiednim czasie (gdy są potrzebne).

Stosowanie systemu AR daje liczne korzyści podczas pracy grupowej. W przypadku oceny opracowanego rozwiązania przez zespół projektantów, każdy z projektantów może oglądać efekty pracy w trybie AR w sposób intuicyjny, ze swojej perspektywy oraz w dowolnej skali (również 1:1) tak, jakby stał przed nim rzeczywisty prototyp.

Członkowie zespołu mogą czerpać dodatkowe informacje o analizowanym rozwiązaniu z różnych źródeł wiedzy. Są one prezentowane w przestrzeni otaczającej zespół. Wszyscy mogą swobodnie zmieniać perspektywę patrzenia na wyświetlany obiekt oraz manipulować nim, co ułatwia zrozumienie proponowanych rozwiązań oraz wspomaga wspólne podejmowanie decyzji w zespole projektowym.



Przedstawione przykłady nie wyczerpują możliwych zastosowań AR w projektowaniu. Prowadzimy dalsze badania nad rozwojem metod wspomaganie projektowania z zastosowaniem AR. Szczególny nacisk kładziemy na sprzężenie zwrotne między światem wirtualnym, reprezentowanym przez wirtualne obiekty, a światem rzeczywistym, w którym wprowadzane są zmiany dokonane na wirtualnych obiektach. Dobrym przykładem jest planowanie rozmieszczenia układów sensorycznych i wykonawczych na robotach mobilnych. Instalacje mogą być odpowiednio rozmieszczone w środowisku wirtualnym, a sprzężenie między środowiskami AR i CAD umożliwi aktualizację dokumentacji projektowej kompletnego robota.

Januszka M., System wspomaganie projektanta układów maszynowych, wykorzystujący techniki poszerzonej rzeczywistości, Praca dyplomowa magisterska (promotor: W. Moczulski), Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Gliwice 2007.

Januszka M., Metoda wspomaganie procesu projektowania i konstruowania z zastosowaniem poszerzonej rzeczywistości, Praca doktorska (promotor: W. Moczulski), Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Gliwice 2012.

Januszka M., Moczulski W., Augmented reality system for aiding engineering design process of machinery systems, Journal of Systems Science and Systems Engineering, 20(3):294-309, 2011.

Ogniwa paliwowe  
alternatywnym źródłem  
zasilania automatycznych  
platform podwodnych



---

**Jerzy Garus, Adam Polak**  
Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno-Elektryczny  
Kontakt / [j.garus@amw.gdynia.pl](mailto:j.garus@amw.gdynia.pl) / [a.polak@amw.gdynia.pl](mailto:a.polak@amw.gdynia.pl)

---

Głębiny morskie i oceaniczne to wciąż najmniej poznane rejony naszej planety. Taki stan jest efektem ograniczeń i wymagań, jakie środowisko wodne stawia potencjalnym eksploratorom, a także barier technologicznych uniemożliwiających spełnienie tych wymagań oraz pokonanie ograniczeń. Rozwiązaniem mogą być autonomiczne platformy podwodne, załogowe i bezzałogowe, które zaopatrzone w specjalizowane systemy i urządzenia służą do badania oraz eksploracji środowiska podwodnego. Realizacja tych zadań uzależniona jest od zasilania w energię.

## Źródła zasilania platform podwodnych

Ze względu na ograniczony dostęp do powietrza atmosferycznego w autonomicznych platformach podwodnych nie jest możliwe stosowanie najpowszechniejszego układu energetycznego wykorzystującego silniki o spalaniu wewnętrznym. Najczęściej stosowanym źródłem zasilania w systemach podwodnych są obecnie wtórne chemiczne ogniwa galwaniczne, tzw. akumulatory.

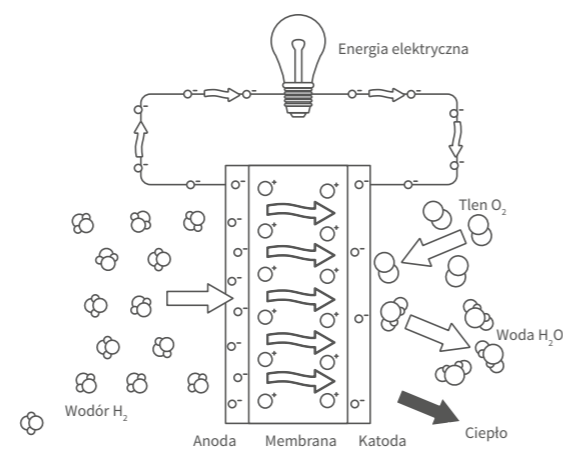
Mimo dynamicznego rozwoju technologii magazynowania energii w ogniwach galwanicznych ilość energii w nich zgromadzona jest niewystarczająca do prowadzenia długotrwałych misji. Zastosowanie ogniw jako źródła zasilania w mobilnych platformach podwodnych w wielu przypadkach jest przyczyną paradoksalnego stanu rzeczy, w którym masa systemu zasilania stanowi większą część masy całkowitej platformy.

Uzyskanie dla platform podwodnych tanich i łatwo dostępnych źródeł energii o wysokich parametrach jest tematem wielu programów badawczych. Oprócz badań służących rozwojowi różnego rodzaju ogniw galwanicznych (litowo-jonowych, magnezowych, fosforanowych itp.), prowadzone są badania nad alternatywnymi źródłami energii. Obecnie najbardziej

perspektywnymi wydają się być ogniwa paliwowe, znajdujące coraz powszechniejsze zastosowanie w różnych rozwiązaniach technicznych, zarówno cywilnych jak i wojskowych. Ich głównym atutem, w porównaniu z ogniwami galwanicznymi, jest większa gęstość energii zgromadzonej w jednostce masy i objętości, osiągająca w odniesieniu do ogniw galwanicznych nawet dwukrotnie większą wartość. Cecha ta została zauważona na świecie i zastosowano już ogniwa paliwowe do zasilania obiektów podwodnych, czego przykładami są japoński autonomiczny pojazd podwodny Urashima czy niemiecki okręt podwodny projektu U-214.

## Zasada działania ogniwa paliwowego

Ogniwo paliwowe to urządzenie łączące cechy akumulatora i silnika spalinowego. Jest źródłem energii elektrycznej (jak akumulator) i działa w sposób ciągły, jeżeli dostarczane jest do niego paliwo (jak silnik spalinowy). Energia elektryczna generowana jest podczas kontrolowanej reakcji chemicznej paliwa z utleniaczem, zachodzącej w obecności katalizatora na dwóch elektrodach – anodzie i katodzie rozdzielonych elektrolitem. W czasie pracy ogniwa paliwowego wytwarzana jest energia cieplna oraz woda jako produkt reakcji wodoru i tlenu.



Zasada działania ogniwa paliwowego

Zaletą ogniw paliwowych, w stosunku do tradycyjnych źródeł generowania energii elektrycznej, jest całkowity brak toksycznych odpadów i spalin – są przyjaznym środowisku źródłem energii elektrycznej. Ich atutem jest brak ruchomych części, co zapewnia wysoką niezawodność, niskie koszty serwisowe i potencjalnie długi czas pracy.

Główny podział ogniw paliwowych wynika z zastosowanego w nich elektrolitu, który determinuje charakter reakcji chemicznych, temperaturę pracy oraz strukturę podsystemów pomocniczych. Analiza dostępnych technologii ogniw paliwowych wskazuje, że najodpowiedniejszymi do zastosowań w platformach podwodnych są ogniwa paliwowe PEM (Proton Exchange Membrane), w których rolę elektrolitu pełni membrana protonoprzewodząca. Cechuje je najwyższa spośród wszystkich rodzajów ogniw paliwowych sprawność przetwarzania energii chemicznej w energię elektryczną, niska temperatura pracy, która umożliwia szybkie uruchomienie i obciążenie, dobra skalowalność systemu oraz różnorodność możliwych zastosowań.

Ogniwa paliwowe – klasyfikacja na podstawie zastosowanego elektrolitu

| PODZIAŁ OGNIA WEDŁUG |                             | AFC       | PEMFC               | DMFC   | PACF           | MACF             | SOFC                |
|----------------------|-----------------------------|-----------|---------------------|--------|----------------|------------------|---------------------|
| ELEKTROLIT           |                             | ALKAICZNY | MEMBRANA POLIMEROWA |        | KWAS FOSFOROWY | STOPIONE WĘGLANY | STAŁE TLENKI METALI |
| TEMPERATURA PRACY    | NISKOTEMPERATUROWE          | 100 °C    | 80 °C               | 100 °C | -              | -                | -                   |
|                      | ŚREDNIOTEMPERATUROWE        | -         | -                   | -      | 650 °C         | -                | -                   |
|                      | WYSOKOTEMPERATUROWE         | -         | -                   | -      | -              | 650 °C           | 650 °C              |
| CIŚNIENIE            | ATMOSFERYCZNE               | X         | X                   | X      | X              | X                | X                   |
|                      | CIŚNIENIOWE                 | -         | -                   | -      | -              | X                | X                   |
| PALIWO               | GAZOWE                      | -         | -                   | -      | -              | X                | X                   |
|                      | CEKŁE                       | -         | -                   | -      | X              | -                | -                   |
|                      | STAŁE                       | -         | -                   | -      | -              | X                | -                   |
| UTLENIACZ            | TLEN                        | X         | X                   | X      | X              | X                | X                   |
|                      | POWIETRZE                   | -         | X                   | X      | X              | -                | X                   |
|                      | POWIETRZE + CO <sub>2</sub> | -         | -                   | -      | -              | -                | X                   |
| ZASTOSOWANIE         | MOTORYZACJA                 | -         | X                   | -      | -              | -                | -                   |
|                      | URZĄDZENIA PRZENOŚNE        | -         | X                   | X      | -              | -                | -                   |
|                      | SPECJALNE                   | X         | X                   | X      | -              | -                | -                   |
|                      | ENERGETYKA                  | -         | -                   | -      | X              | X                | X                   |

Źródło: Sałaciński J., Miller A., Milewski J., Przegląd Energetyczny 4/2006



Stos ogniw paliwowych

Typowe ogniwo paliwowe PEM składa się z membrany protonoprzewodzącej, elektod z katalizatorem, warstw gazodyfuzyjnych oraz płyt bipolarnych z kanałami gazowymi. Pojedyncze ogniwo umożliwia uzyskanie napięcia ok. 1 V, aby uzyskać większe wartości konieczne jest połączenie szeregowo kilku, kilkunastu lub kilkudziesięciu pojedynczych ogniw w tzw. stos ogniw paliwowych.

### System zasilania platform podwodnych z ogniwem paliwowym PEM

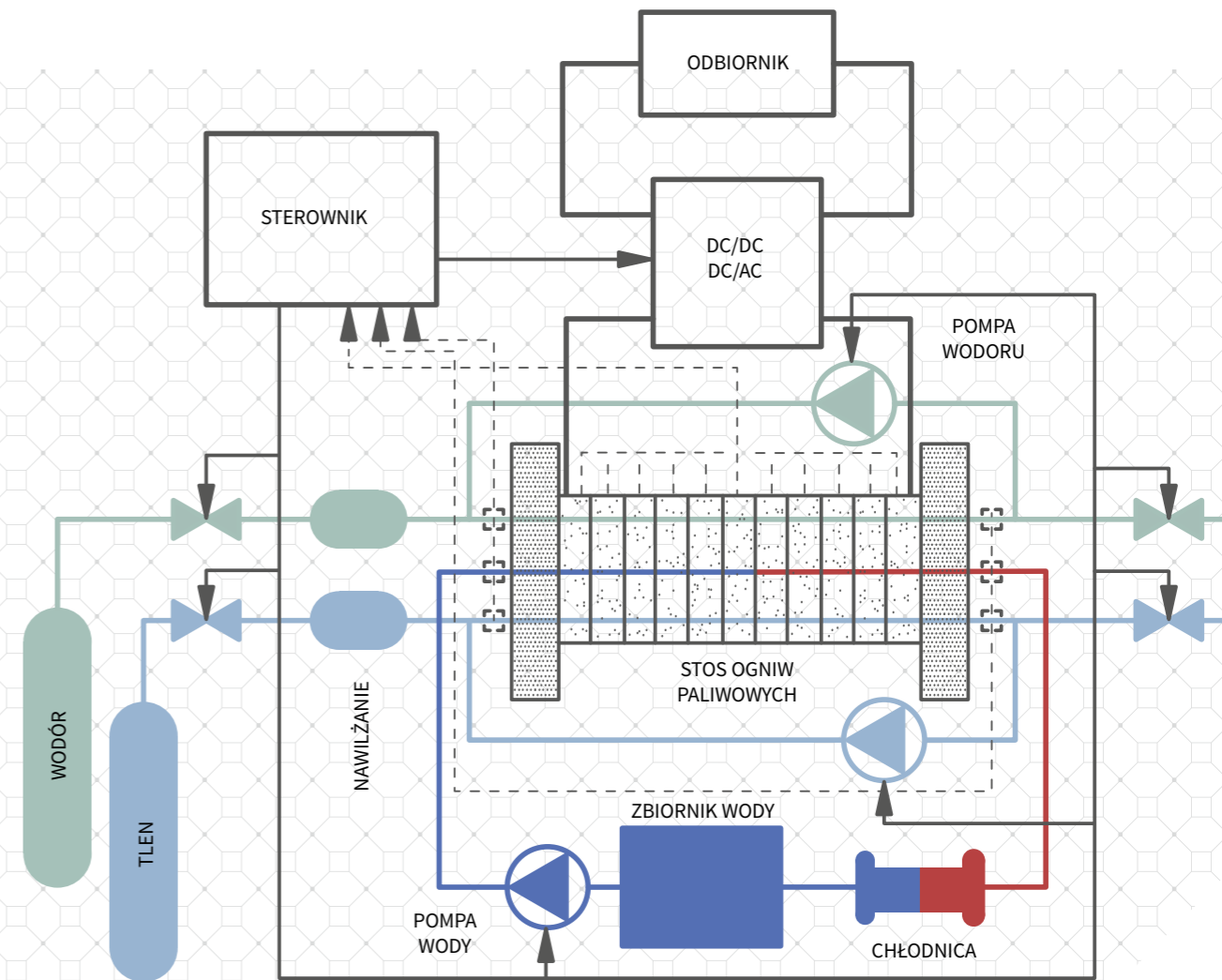
Stos ogniw paliwowych nie działa samodzielnie – potrzebuje wielu urządzeń pomocniczych zapewniających właściwe warunki pracy, w tym: odpowiednie ciśnienia gazów reakcyjnych oraz ich natężenia przepływu, stopień nawilżenia membrany, temperatura ogniwa paliwowego.

Utrzymanie wartości tych parametrów na poprawnym poziomie jest zadaniem podsystemów ogniwa paliwowego.

Do najważniejszych podsystemów należą:

- podsystem zasilania paliwem,
- podsystem zasilania utleniaczem,
- podsystem zarządzania ciepłem,
- podsystem zarządzania wodą,
- podsystem sterowania i monitorowania.

Podsystemy te wraz ze stosem ogniw paliwowych tworzą tzw. system ogniwa paliwowego.



Schemat funkcjonalny systemu zasilania platformy podwodnej z ogniwem paliwowym PEM

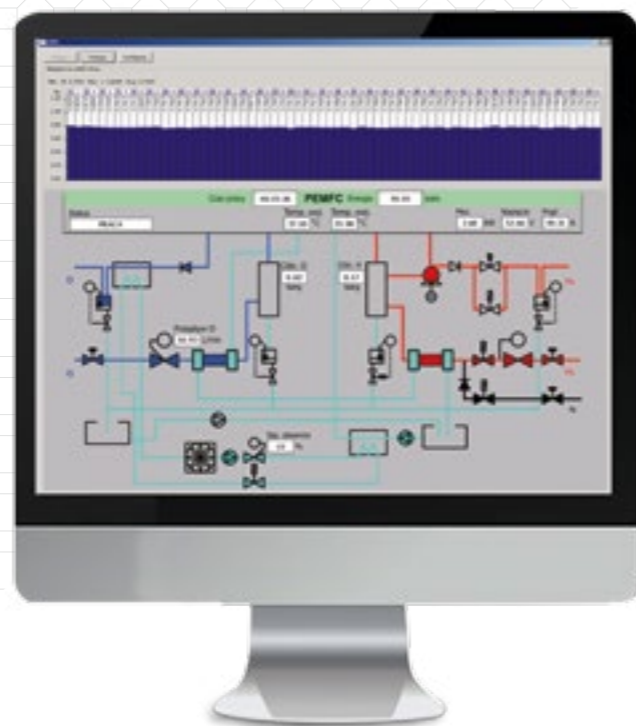
W Instytucie Elektrotechniki i Automatyki Okrętowej Akademii Marynarki Wojennej zaprojektowano i zbudowano system ogniwa paliwowego PEM do zasilania autonomicznych platform podwodnych. Zastosowano tu stos ogniw paliwowych XXL8.0 produkcji holenderskiej firmy Nedstack, składający się z 68 pojedynczych ogniw. System ogniwa paliwowego PEM może zasilac odbiory prądem stałym o mocy do 8 kW, pod warunkiem dostarczenia odpowiednich ilości gazów reakcyjnych do elektrod oraz zapewnienia wymaganych warunków pracy stosu.

Ze względu na przeznaczenie do pracy w środowisku podwodnym system jest przystosowany do działania bez dostępu powietrza atmosferycznego. Zapewniono to przez magazynowanie paliwa (wodór) oraz utleniacza (tlen) w zbiornikach ciśnieniowych. Podczas projektowania systemu uwzględniono ograniczenie, jakim jest limitowana masa oraz przestrzeń przeznaczona na platformie podwodnej na źródło zasilania.

Nad pracą systemu ogniwa paliwowego czuwa mikroprocesorowy układ nadzoru, który monitoruje i kontroluje pracę systemu zasilania oraz dba o zapewnienie właściwych warunków pracy.

Przeprowadzone badania symulacyjne i eksperymentalne systemu ogniwa paliwowego pozwoliły określić parametry techniczne poszczególnych jego elementów. Obecnie trwają prace nad udoskonalaniem jego podsystemów, ukierunkowane na poprawienie ogólnej efektywności oraz zwiększenie współczynników gęstości energetycznej.

Opracowany system zasilania z ogniwem paliwowym ma budowę modułową i może być szybko dopasowany do wymagań potencjalnego użytkownika, zarówno ze względu na zapotrzebowaną moc, jak i rodzaj odbiorów. Zespół badawczy Akademii Marynarki Wojennej może zaprojektować i zbudować układ zasilania elektrycznego bazujący na ogniwach paliwowych PEM z przeznaczeniem nie tylko do obiektów podwodnych.



Okno aplikacji nadzorującej pracę systemu ogniwa paliwowego



Niezależny od powietrza laboratoryjnego system zasilania z wykorzystaniem ogniwa paliwowego PEM

Magazyn gazów systemu ogniwa paliwowego niezależnego od powietrza

Robot MTracker  
do zastosowań  
naukowo-badawczych  
i dydaktycznych



---

**Krzysztof Kozłowski**  
Politechnika Poznańska, Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów  
Kontakt / [krzysztof.kozlowski@put.poznan.pl](mailto:krzysztof.kozlowski@put.poznan.pl)

---

MTracker jest owocem wieloletnich badań nad robotyką mobilną prowadzonych w Katedrze Sterowania i Inżynierii Systemów na Wydziale Informatyki Politechniki Poznańskiej. Dzięki solidnej, sztywnej konstrukcji wykonanej z materiałów wysokiej jakości oraz napędowi o dużej dynamice jednostka ta umożliwia przeprowadzanie eksperymentów o charakterze badawczym i edukacyjnym.

## Budowa robota MTracker

Podstawowy sterownik robota stanowi komputer pokładowy, którego jednostką centralną jest wyposażony w bogate peryferia procesor sygnałowy Texas Instruments TMS 320F28335 taktowany zegarem 150 MHz. Na płycie umieszczono pamięć RAM o pojemności 256 kB oraz pamięć flash 128 kB. Robot jest wyposażony w odbiciowe czujniki zbliżeniowe działające w pasmie podczerwieni, o zasięgu do 200 mm oraz opcjonalnie w dwa dwuosiowe czujniki przyśpieszenia i żyroskop. W wersji podstawowej wysokość robota wynosi 65 mm przy średnicy 170 mm.

Funkcjonalność robota może zostać rozszerzona przez umieszczenie na platformie dodatkowych modułów: komputera klasy PC z systemem Windows CE lub Linux, kamery cyfrowej, dalmierza laserowego lub innych komponentów. Pozwala to na implementację złożonych algorytmów umożliwiających autonomiczną pracę robota. Bogate interfejsy komunikacyjne (w tym bezprzewodowe, o dużej przepustowości) umożliwiają realizację zadań w architekturze master-slave (np. algorytmy wirtualnej struktury, metody śledzenia lidera) oraz rozproszonej, w której roboty funkcjonują jako niezależne agenty (np. metody behawioralne).

## Zalety:

- prosta i solidna konstrukcja mechaniczna,
- podzespoły wysokiej jakości,
- duża dynamika,
- modułowa budowa (łatwe rozszerzanie o komponenty mechaniczne, elektroniczne i programowe),
- łatwa implementacja nowych funkcjonalności, również wymagających znacznej mocy obliczeniowej,
- liczne interfejsy komunikacyjne: RS-232, USB 2.0, radio cc2500, w rozszerzonej wersji WiFi.



## Parametry techniczne robota:

- średnica: 170 mm,
- wysokość (w wersji podstawowej): 65 mm,
- prędkość maksymalna 1 m/s,
- napęd: dwa silniki prądu stałego 6 W z przekładniami 14:1,
- przetworniki obrotowo-impulsowy na osiach silników 32 imp./obr.,
- zasilanie z akumulatora 8–15 V, 2000–4400 mAh,
- czujniki zbliżeniowe o zasięgu max. 200 mm.

## Sterownik pokładowy jest wyposażony w podzespoły:

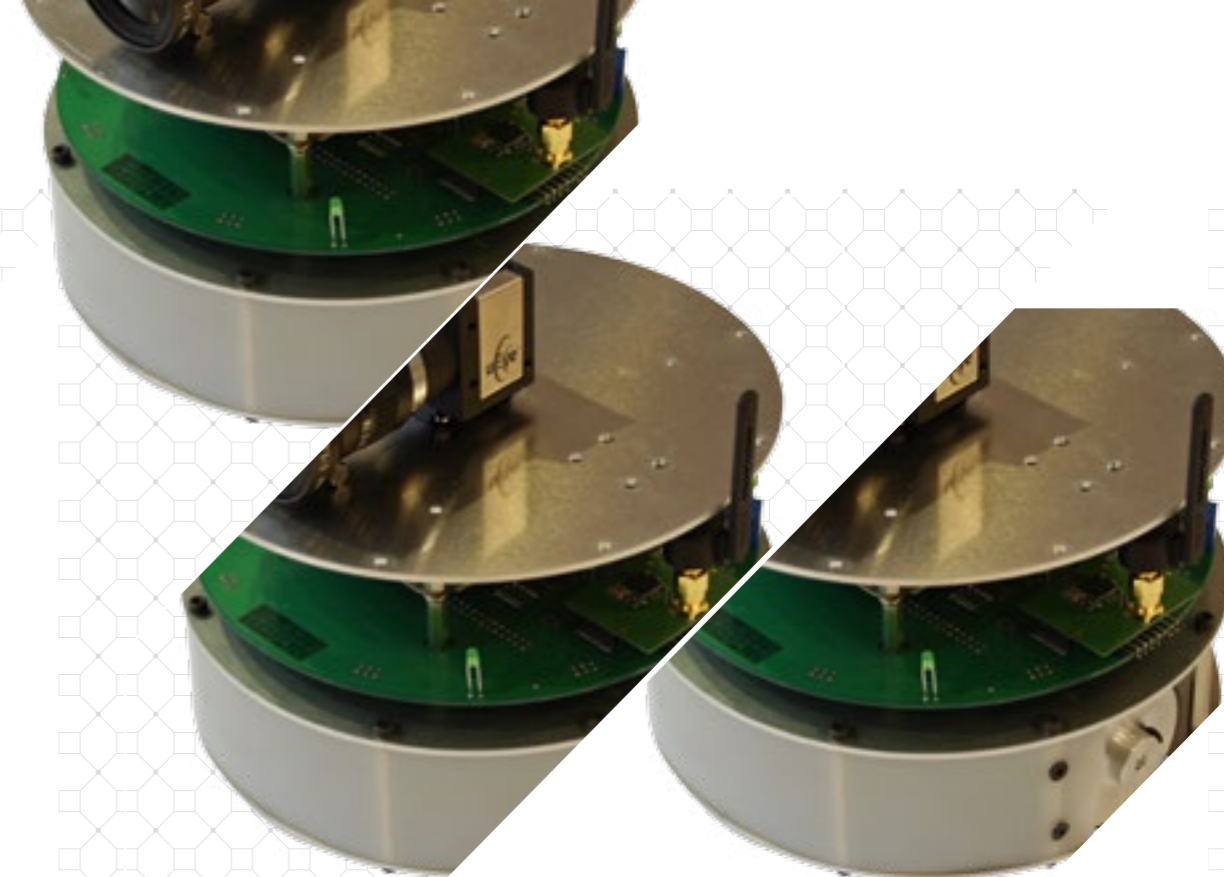
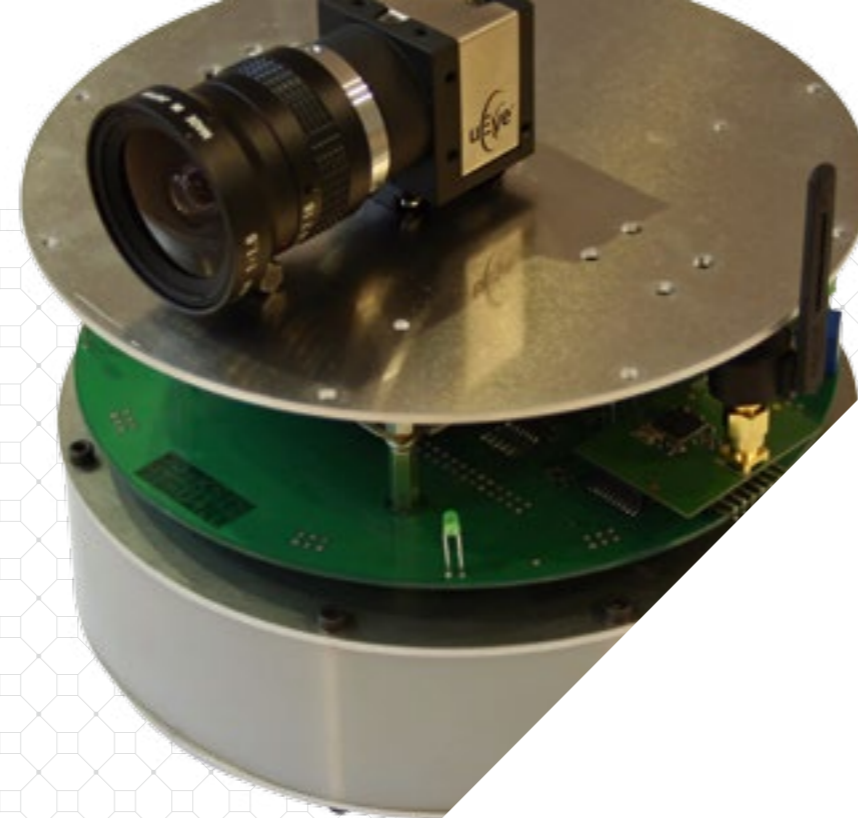
- procesor sygnałowy TMS 320F28335 150 MHz,
- RAM 256 kB × 16 bit,
- FLASH 128 kB × 16 bit,
- interfejsy UART RS-232, USB 2.0,
- komunikacja radiowa: moduł cc2500 256 kb/s.

## Wyposażenie opcjonalne robota stanowią następujące elementy:

- dwa 2-osiove sensory przyśpieszenia,
- żyroskop,
- dodatkowy komputer pokładowy z systemem Windows CE lub Linux.



Roboty powstające w Katedrze, których przykładem jest MTracker, są zwykle wyposażone w szereg czujników, które mogą być wykorzystywane przez wbudowany sterownik w trybie pracy autonomicznej: czujniki zbliżeniowe IR, żyroskop, czujniki przyspieszeń. W zależności od potrzeb jako sterowniki pokładowe wykorzystywane są wbudowane komputery PC oraz kontrolery własnej konstrukcji oparte na procesorach sygnałowych. Do komunikacji między rozproszonymi elementami systemu wykorzystywane są zarówno popularne sieci bezprzewodowe WiFi jak i specjalizowane moduły radiowe (w zależności od wymaganych przepustowości, zasięgu oraz wydajności pokładowych źródeł zasilania). W powstających konstrukcjach szczególny nacisk kładziony jest na solidność, niezawodność i modułowość. W przeprowadzonych eksperymentach wykorzystywano metody wirtualnej struktury, śledzenia lidera oraz podejście behawioralne.



### Kierunki prowadzonych badań

Badania teoretyczne związane z wykorzystaniem zbudowanych robotów MTracker (Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów posiada 50 sztuk takich robotów) skupiają się przede wszystkim na metodach analitycznych, opartych na zależnościach geometrycznych, funkcjach sztucznych potencjałów i ich gradientach oraz funkcji nawigacji a w przypadku systemów wielorobotowych również funkcji formacji. Do sterowania wykorzystywano również podejście oparte na linearyzacji wejście-wyjście modelu kinematycznego (badania stymulacyjne i eksperymentalne) [1, 2, 4] lub dynamicznego robota (badania symulacyjne) [3] i zastosowaniu linowego sterowania w części odpowiedzialnej za minimalizację uchybu położenia. W ramach testów rozwiązywano zarówno zadanie ruchu do zadanego punktu/obszaru przestrzeni roboczej jak i śledzenia trajektorii, zarówno indywidualnych dla poszczególnych robotów jak i wspólnej dla całej formacji.

Roboty MTracker są stosowane na zajęciach dydaktycznych realizowanych w programie nauczania automatyki i robotyki w Laboratorium Systemów Wielorobotowych. Są to zadania wspólnej nawigacji robotów w środowisku z przeszkodami statycznymi oraz dynamicznymi, zadania formacji robotów dla realizacji określonych formacji jak również do zadań inspekcji w środowisku laboratoryjnym.

- 1 Kozłowski K.R., Kowalczyk W., Krysiak B., Kielczewski M., Jedwabny T., Modular Architecture of the Multirobot System for Teleoperation and Formation Control Purposes, 9th International Workshop on Robot Motion and Control, Wąsowo, Polska, 2013, 19–24.
- 2 Kowalczyk W., Michałek M., Kozłowski K., Trajectory Tracking Control and Obstacle Avoidance for Differentially Driven Mobile Robot, Preprints of the 18th IFAC World Congress, Mediolan, Włochy, 2011, 1058–1063.
- 3 Kowalczyk W., Kozłowski K.R., Tar J.K., Trajectory tracking for Multiple Unicycles in the Environment with Obstacles, IEEE 19th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD), Budapeszt, Węgry, 2010, 451–456.
- 4 Kowalczyk W., Michałek M., Kozłowski K., Trajectory tracking control with obstacle avoidance capability for unicycle-like mobile robot, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, Vol. 60, No. 3, 2012, 537–546.

# Wizyjne sterowanie ruchem robota KUKA KR3



---

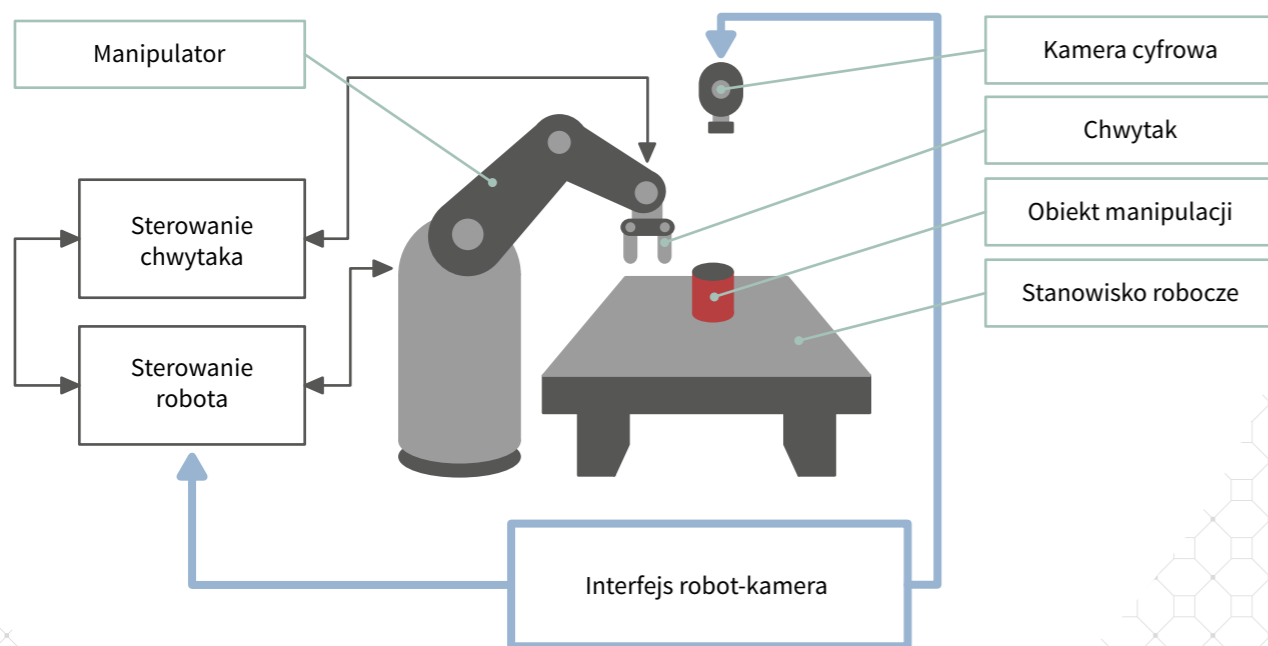
**Krzysztof Palenta<sup>1</sup>, Artur Babiarz<sup>2</sup>, Radosław Zawiski<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>General Motors Manufacturing Poland, <sup>2</sup>Politechnika Śląska, Instytut Automatyki  
Kontakt / k.palenta@gmail.com / artur.babiarz@polsl.pl / radoslaw.zawiski@polsl.pl

---

W projekcie zrealizowanym w Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej rozwiązano problem z zakresu integracji robota KUKA KR3 z systemem wizyjnym NI Smart Camera 1742. Poruszono zagadnienie konstrukcji interfejsów komunikacyjnych między robotem przemysłowym a kamerą, akwizycji obrazu oraz budowy biblioteki do programu LabVIEW.

## Zrobotyzowane stanowisko i urządzenia peryferyjne

Projekt zrealizowano na stanowisku składającym się z robota przemysłowego, wyposażonego w chwytak oraz kamerę cyfrową umieszczoną nad obszarem roboczym. Głównym problemem była integracja tych urządzeń. Interfejs sterujący robotem na podstawie informacji wizyjnej, może być zaimplementowany w sterowniku robota lub w urządzeniu pośrednim.



## Robot KUKA KR3 i jego specyfikacja

Robot KUKA KR 3, który jest podstawą sprzętową prezentowanego rozwiązania, składa się z trzech komponentów: manipulatora (KR3), sterownika robota (KR C3) oraz panelu sterującego/programatora (KCP). Zestaw tak dobranych komponentów jest reprezentatywny dla szerokiej klasy robotów stosowanych w polskim przemyśle lekkim.

### Dane techniczne manipulatora KUKA KR3

| Parametr         | Wartość          |          |
|------------------|------------------|----------|
| Udźwig nominalny | 1,5 kg           |          |
| Liczba osi       | 6                |          |
| Zasięg           | 635 mm           |          |
| Powtarzalność    | ±0,05 mm         |          |
| Masa             | 53 kg            |          |
| Parametry osi    | Zakres           | Prędkość |
| Oś 1 (A1)        | ±180°            | 240°/s   |
| Oś 2 (A2)        | -45°/+135°       | 210°/s   |
| Oś 3 (A3)        | -225°/+45°       | 240°/s   |
| Oś 4 (A4)        | ±180°            | 375°/s   |
| Oś 5 (A5)        | ±135°            | 300°/s   |
| Oś 6 (A6)        | brak ograniczeń* | 375°/s   |

\* brak mechanicznych ograniczeń, programowe ograniczenie ±270° wynikające z wersji oprogramowania kontrolera robota

### Manipulator KR3

Struktura kinematyczna manipulatora robota w wersji podstawowej składa się z 6 osi obrotowych, które umożliwiają osiągnięcie punktu w przestrzeni roboczej z dowolną orientacją elementu wykonawczego (chwytaka).

### Oprogramowanie manipulatora

Oprogramowanie KSS (KUKA System Software) zapewnia użytkownikowi przyjazny interfejs, którego jedną z funkcji jest tworzenie i edycja programu robota. Do programowania służy dedykowany język KRL (KUKA Robot Language), w którym zdefiniowano proste i złożone funkcje robota:

- operacje na zmiennych,
- funkcje warunkowe i pętle,
- obsługa timerów i przerw,
- zarządzanie wejściami/wyjściami robota,
- ruch liniowy/osiowy/po okręgu do zdefiniowanego punktu.



Manipulator KR3

## Kamera NI 1742 Smart Camera

Urządzenia z serii 17xx National Instruments to inteligentne kamery, które oprócz akwizycji obrazu mogą samodzielnie przetwarzać i analizować zebrane dane. Dedykowany układ procesora i pamięci pozwala użytkownikowi na zaimplementowanie własnego programu, natomiast system operacyjny czasu rzeczywistego zapewnia deterministyczne działanie.

### Specyfikacja kamery NI 1742 Smart Camera

Wachlarz możliwości programowych zależy od producenta urządzenia. Firma National Instruments, dzięki zintegrowaniu kamery ze środowiskiem LabVIEW, umożliwia implementację bardzo złożonych aplikacji wizyjnych i programowe zarządzanie wieloma funkcjami urządzenia, np.:

- akwizycją obrazu w trybie ciągłym i pojedynczym,
- konfiguracją sensora i sterowanie oświetlaczem,
- przetwarzaniem obrazu,
- komunikacją zewnętrzną.



#### Dane techniczne kamery

| Parametr              | Wartość   |
|-----------------------|---|
| Procesor              | 533 MHz   |
| System operacyjny     | VxWorks   |
| Typ czujnika obrazu   | 1/3 cala Sony ICX424AL CCD                        |
| Kolor obrazu          | Monochromatyczny                                  |
| Rozdzielczość         | 640 × 480 px (VGA)                                |
| Liczba klatek/s (FPS) | 60  |
| Złącza                | 2 × Ethernet 1 Gb/s Złącze DE-15 (zasilanie +I/O) |

### Oprogramowanie kamery

Kamera NI 1742 może być programowana przy użyciu jednego z dwóch środowisk, w zależności od wymagań użytkownika:

- NI Vision Builder
- LabVIEW.

Vision Builder jest programem dedykowanym do tworzenia inspekcji wizyjnych dla kamer inteligentnych z rodziny National Instruments. Prosty interfejs i bardzo łatwe konstruowanie algorytmu gwarantują szybkie tworzenie aplikacji i proste dopasowywanie oprogramowania do potrzeb przedsiębiorstwa. Użytkownik ma do dyspozycji liczne funkcje przetwarzania obrazu, których sekwencja określa kolejne akcje. Kształt ostatecznej aplikacji sprowadza się do akwizycji obrazu, przetworzenia za pomocą wielu funkcji i przestaniu wyniku ostatniej akcji. Implementacja bardziej złożonych algorytmów, np. równoległych pętli obliczeniowych, nie jest możliwa.

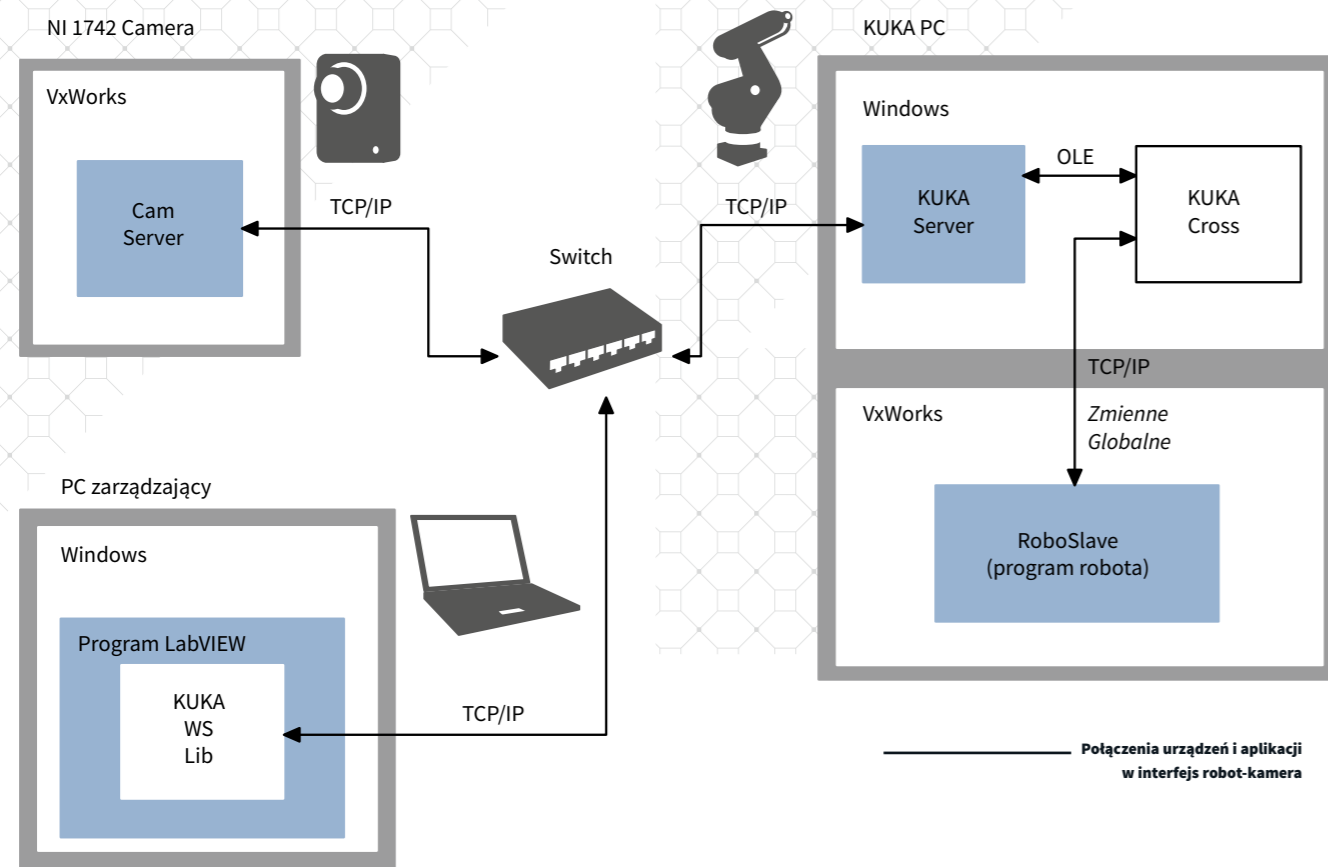


W takim przypadku należy zastosować pakiet LabVIEW, który pozwala implementować dużo bardziej złożone algorytmy wizyjne oraz uzyskać większą autonomię urządzenia. Środowisko to wymaga jednak większych umiejętności niż w przypadku programu Vision Builder.

## Konceptcja interfejsu robot-kamera i jego realizacja

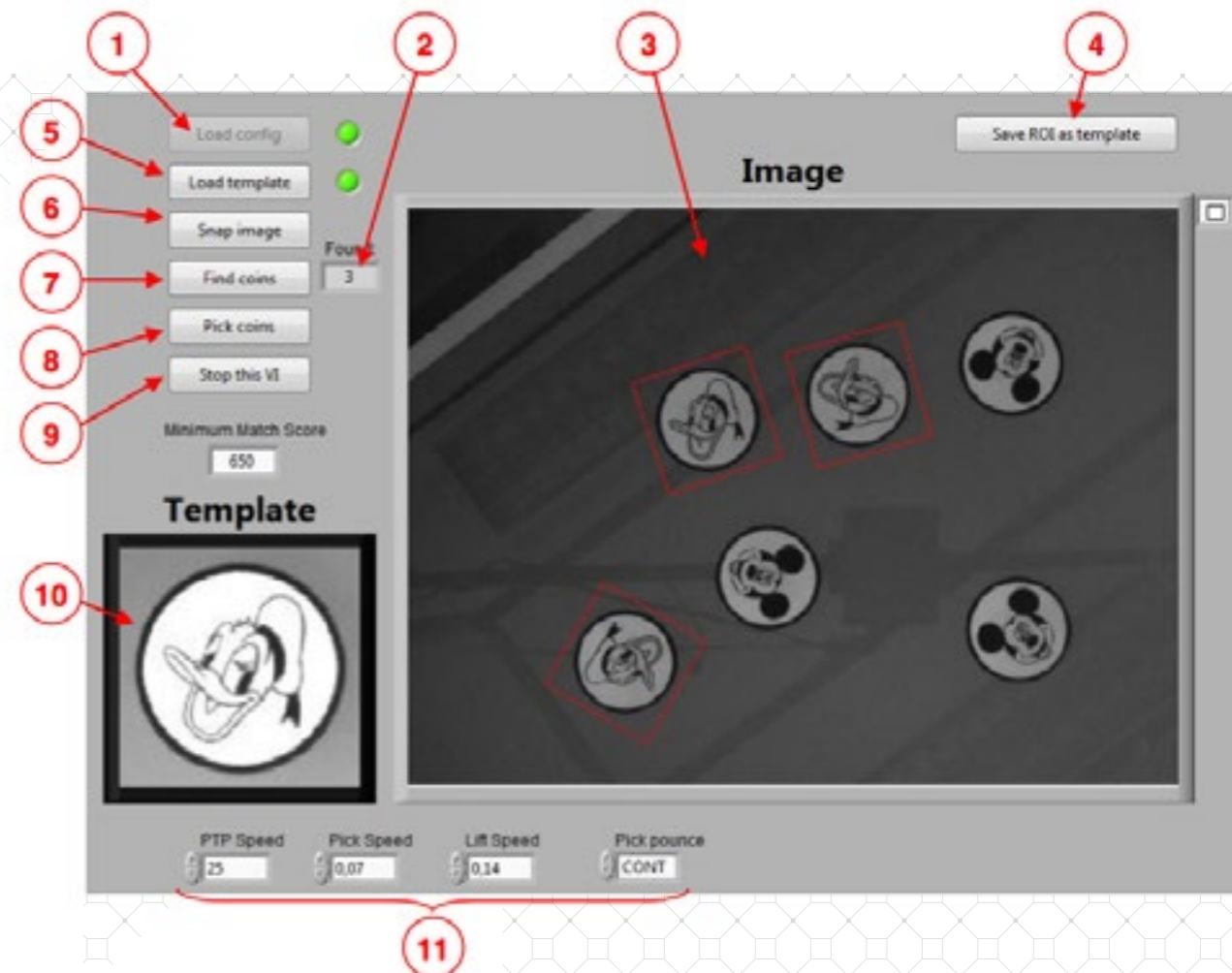
Proponowane rozwiązanie wymagało stworzenia trzech aplikacji wspomagających komunikację zewnętrzną urządzeń oraz wewnętrzną wymianę informacji w robocie:

- CamServer (LabVIEW) – komunikacja serwera TCP/IP z kamerą NI 17xx SmartCamera do obsługi komend akwizycji i konfiguracji,
- KUKAServer (C++) – serwer TCP/IP oraz aplikacja bezpośredniej wymiany danych z oprogramowaniem robota KUKA,
- RoboSlave (KRL KUKA Robot Language) – program w standardowym języku robota do realizacji ruchu.



## Rzeczywiste stanowisko

Aplikacja wizyjna reaguje na dwa typy obiektów – monety przedstawiające Kaczora Donalda i Myszkę Miki. Obiekty mają jednakową wielkość, różnią się grafiką wewnątrz czarnej obwódki. Monety są mocowane za pomocą pionowego szpikulca, ułatwiającego pobranie ich przez chwytak robota.



- Panel główny aplikacji wizyjnej z opisem przycisków i kontrolki:
- 1 – wczytanie konfiguracji stanowiska
  - 2 – wskaźnik wykrytych obiektów zgodnych z wzorcem
  - 3 – podgląd zdjęcia z kamery
  - 4 – zapis do pliku wybranego obszaru ze zdjęcia
  - 5 – załadowanie wzorca z pliku
  - 6 – akwizycja jednokrotna (krok 1)
  - 7 – wyszukiwanie obiektów na obrazie (krok 2)
  - 8 – ruch robota do znalezionych obiektów (krok 3)
  - 9 – zatrzymanie aplikacji
  - 10 – podgląd wzorca
  - 11 – edycja prędkości robota

## Implementacja i opis działania

Aplikacja selekcji została stworzona w środowisku LabVIEW 2010 za pomocą dwóch bibliotek/modułów:

- KUKA WS Lib – akwizycja obrazu z kamery NI 1742, konwersja informacji wizyjnej na współrzędne manipulatora i sterowanie robotem KUKA.
- NI Vision Development Module – metoda przyuczania wzorca monety i wykrywania obiektów na obrazie kamery.

Testy finalnej wersji stacji wizualnego sterowania robotem pokazały, że układ pobiera wszystkie tokeny wybranego typu i umieszcza je w ustalonym punkcie przestrzeni roboczej. Wyszukiwanie i selekcja obiektów jest realizowana w trzystopniowej sekwencji, której każdy etap jest uruchamiany oddzielnie – akwizycja, wyszukanie obiektów, wykonanie ruchu do wskazanego punktu.



Stanowisko robota wraz z tokenami do zebrania



## Podsumowanie

W ramach realizacji projektu zintegrowano robota przemysłowego KUKA KR3 z kamerą cyfrową NI 1742 SmartCamera. Otrzymane stanowisko dydaktyczne stanowi wyposażenie Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. Prezentowane oprogramowanie umożliwia tworzenie własnych algorytmów wizyjnych przez użytkownika.

Główne zalety stanowiska:

- praca robota w trybie automatycznym,
- możliwość integracji z innymi urządzeniami (środowisko LabVIEW),
- szybka diagnostyka i usuwanie problemów – wbudowana obsługa błędów w całym oprogramowaniu,
- prosta obsługa stanowiska za pomocą konfiguratorów i kreatorów.

