

Automatyka i Robotyka – kierunek z przyszłością

O pozycji Instytutu na rynku polskich uczelni technicznych, prowadzonych pracach badawczych, współpracy z polskim przemysłem oraz trendach rozwojowych w obszarze automatyki i pomiarów, z prof. dr. hab. inż. Janem Maciejem Kościelnym, Dyrektorem Instytutu Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej, rozmawia Dobrochna Chudzik.



JAN MACIEJ KOŚCIELNY:

Instytutom bardzo brakuje środków potrzebnych na finansowanie nowych koncepcji naukowych (w początkowej fazie, zanim osiągną poziom dojrzałości uprawniającej do ubiegania się o grant), rozwój laboratoriów, wyjazdy konferencyjne itp.

Dobrochna Chudzik: W rankingu uczelni wyższych „Perspektywy 2014” Politechnika Warszawska zajęła czwarte miejsce i jest liderem wśród szkół technicznych. Z informacji PAP wynika, że o jedno miejsce na tej uczelni podczas naboru na rok akademicki 2014/2015 ubiegało się 10 osób, a w przypadku kierunku Automatyka – nawet 25 kandydatów. Państwa Instytut uczestniczy w kształceniu studentów na kierunkach Automatyka i Robotyka, Mechatronika oraz Inżynieria Biomedyczna. Proszę w skrócie przedstawić ofertę edukacyjną Państwa Instytutu, uwzględniając także te elementy działalności dydaktycznej, które wyróżniają Państwa na tle podobnych kierunków prowadzonych na innych uczelniach technicznych w kraju.

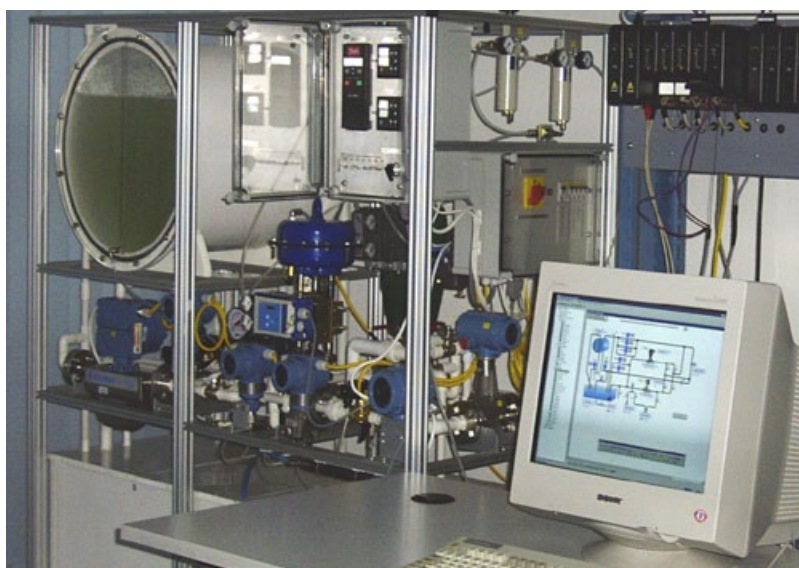
Jan Maciej Kościelny: Na wstępie chciałbym uzupełnić informacje o pozycji Politechniki Warszawskiej, a w szczególności Instytutu Automatyki i Robotyki (AiR) na Wydziale Mechatroniki w kształceniu studentów na tym kierunku. W 15. jubileuszowej edycji Rankingu Szkół Wyższych „Perspektywy 2014” Instytut Automatyki i Robotyki uzyskał najwyższą punktację i zajął I miejsce w Rankingu Kierunków Studiów 2014 w grupie Automatyka i Robotyka. Z tego tytułu przysługuje nam Znak Jakości – Najlepsze Studia w Polsce. Nasza oferta edukacyjna jest bardzo szeroka. Instytut Automatyki i Robotyki uczestniczy w kształceniu studentów na trzech kierunkach: Automatyka i Robotyka, Mechatronika oraz Inżynieria Biomedyczna. Jako jedyni na Politechnice Warszawskiej prowadzimy na kierunku

Automatyka i Robotyka trzy specjalności: Automatyka, Robotyka i Informatyka Przemysłowa. Wszystkie te specjalności cieszą się bardzo dużym zainteresowaniem studentów. O ile dwie pierwsze są doskonale rozpoznawalne, to nazwa Informatyka Przemysłowa nie zawsze jest dla kandydatów oczywista. W skrócie można stwierdzić, że przygotowuje ona do projektowania, wdrażania i eksploatacji nowoczesnych informatycznych systemów automatyki i robotyki.

Na zaocznych studiach inżynierskich na odległość (realizowanych przez OKNO – Ośrodek Kształcenia na Odległość PW) Instytut prowadzi w ramach kierunku AiR specjalność:

- Informatyka Przemysłowa, a na tradycyjnych studiach inżynierskich zaocznych specjalność:
- Automatyka i Robotyzacja Procesów Przemysłowych. Ponadto Instytut prowadzi cztery studia podyplomowe:
- Automatyka;
- Informatyka Przemysłowa;
- Mechatronika w Kształceniu Zawodowym;
- Informatyczne Systemy Zarządzania.

Myszę, że prowadzone w naszym Instytucie kształcenie studentów wyróżnia wiele elementów. Pozwolę sobie wymienić najważniejsze. Po pierwsze, Wydział Mechatroniki jest najbardziej interdyscyplinarnym wydziałem na PW. Studenci uzyskują i umieją łączyć wiedzę z zakresu automatyki i robotyki, informatyki, mechaniki, elektrotechniki, elektroniki, fotoniki, metrologii, diagnostyki. Dzięki temu absolwenci kierunku AiR są poszukiwanymi i atrakcyjnymi pracownikami dla wszystkich branż przemysłu. Po drugie, program studiów w sposób zrównoważony łączy zagadnienia teoretyczne i praktyczne, przygotowując absolwentów do pracy w przemyśle różnych branż, firmach projektowych, doradczych, inżynierskich z zakresu high-tech, jednostkach naukowych itp. Poza tym program ten jest konsultowany przez Radę Przemysłowo-Programową, którą tworzą prezesi/dyrektorzy kilkunastu najważniejszych firm związanych z produkcją, projektowaniem i eksploatacją urządzeń i systemów automatyki. Wykładowcami w naszym Instytucie są nie tylko pracownicy uczelni, ale także wybitni fachowcy z przemysłu, a niektóre zajęcia laboratoryjne prowadzone są w laboratoriach czołowych firm. Laboratoria IAiR PW są wyposażone w nowoczesną aparaturę i stale uaktualniane oprogramowanie przez współpracujące firmy, wiodące w branży automatyki i robotyki. Przykładowo, jako jedyny Instytut w Polsce dysponujemy trzema różnymi systemami sterowania klasy DCS. Studia na Wydziale Mechatroniki zapewniają możliwość indywidualnego



FOT. 1

Stanowisko do badania układów regulacji tolerujących uszkodzenia

rozwoju, przez współpracę w zespołach naukowych wykonujących różnorodne projekty badawcze oraz działalność w czterech kołach naukowych działających przy Instytucie Automatyki i Robotyki: ROBOMATIC, CYBORG++, HUMANOID, EFFECTOR. Wielu absolwentów naszego Instytutu zostało laureatami ogólnopolskich konkursów na najlepsze prace dyplomowe i prace doktorskie. Na koniec warto wspomnieć, że inżynier-specjalista z zakresu automatyki i robotyki to jeden z najbardziej poszukiwanych zawodów na rynku w Polsce i na świecie. Absolwenci kierunku Automatyka i Robotyka Wydziału Mechatroniki bez trudu znajdują pracę w polskich i zagranicznych firmach przemysłowych, projektowych, doradczych, inżynierskich z zakresu high-tech, instytutach naukowych. Część z nich prowadzi także własne firmy.

D.Ch.: Równie ważna jak praca dydaktyczna jest działalność naukowa i współpraca z przemysłem. Proszę przedstawić kierunki badań naukowych prowadzonych w Instytucie Automatyki i Robotyki, a szczególnie w Zakładzie Automatyki oraz Zakładzie Urządzeń Wykonawczych Automatyki i Robotyki, ofertę Instytutu dla podmiotów gospodarczych, a także działalność Komitetu Przemysłowo-Programowego przy Instytucie Automatyki i Robotyki.

J.M.K.: O zakresie i poziomie prowadzonych badań, a także o jakości kształcenia decydują zawsze ludzie. Kadra Instytutu to wspaniali naukowcy i dydaktycy. W Instytucie zatrudnieni są samodzielni pracownicy naukowcy (profesorowie i doktorzy). Zainteresowania samodzielnych pracowników naukowych, a także doktorów i doktorantów kształtują kierunki prac badawczych. Kierunki te można zaklasyfikować do następujących czterech grup:

- automatyka;
- robotyka przemysłowa, mobilna i medyczna;
- diagnostyka i monitorowanie i procesów przemysłowych i systemów mechatronicznych;
- inżynieria biomedyczna.

Badania prowadzone są w trzech zakładach: Zakładzie Automatyki (kierownik – prof. Jerzy Kurek), Zakładzie Diagnostyki i Monitorowania Procesów (kierownik – prof. Barbara Putz) oraz Zakładzie Urządzeń Wykonawczych Automatyki i Robotyki (kierownik – prof. Krzysztof Janiszowski). Zakres tematyki podejmowanej przez zakłady nie jest rozłączny, a zespoły badawcze dobierane są do realizowanych zadań na zasadzie kompetencji, spośród pracowników całego Instytutu.

Nasza oferta dla gospodarki jest ściśle związana z kierunkami prowadzonych badań i zostanie przedstawiona w zarysie w tym układzie.

W zakresie automatyki podejmujemy się projektowania i aplikacji zaawansowanych systemów sterowania, układów automatyki o wysokich wymaganiach jakościowych dla obiektów nietypowych. Przykładem jest adaptacyjny kaskadowy układ regulacji temperatury pary w przegrzewaczu pary testowany w jednej z elektrowni zawodowych.

Od wielu lat specjalnością Instytutu są zaawansowane algorytmy sterowania serwonapędów pneumatycznych. Wiele prac o tej tematyce zostało zrealizowanych na zlecenie centrali firmy FESTO. Rezultaty projektów zostały wdrożone do produkcji przemysłowej w dwóch katalogowych wersjach aktuatora pneumatycznego SPC100 i SPC200, wyróżnionych Złotymi Medalami, m.in. na Targach Hanowerskich oraz na Targach Automaticon w Warszawie.



Nowe otwieranie E2 micro

E2 micro z narzędziem do otwierania 1 m w 2 sekundy.

www:
Sklep
3D-CAD
Żywotność
Konfigurator
Wyszukiwarka

Proste systemy zasilania:

Małe e-prowadniki do dużych zadań. Stabilniejsze, cichsze i trwalsze w porównaniu do poprzednich rozwiązań. Łatwe otwieranie dzięki załączonemu narzędziu. Konfiguracja i zamówienia online: igus.pl/E2micro

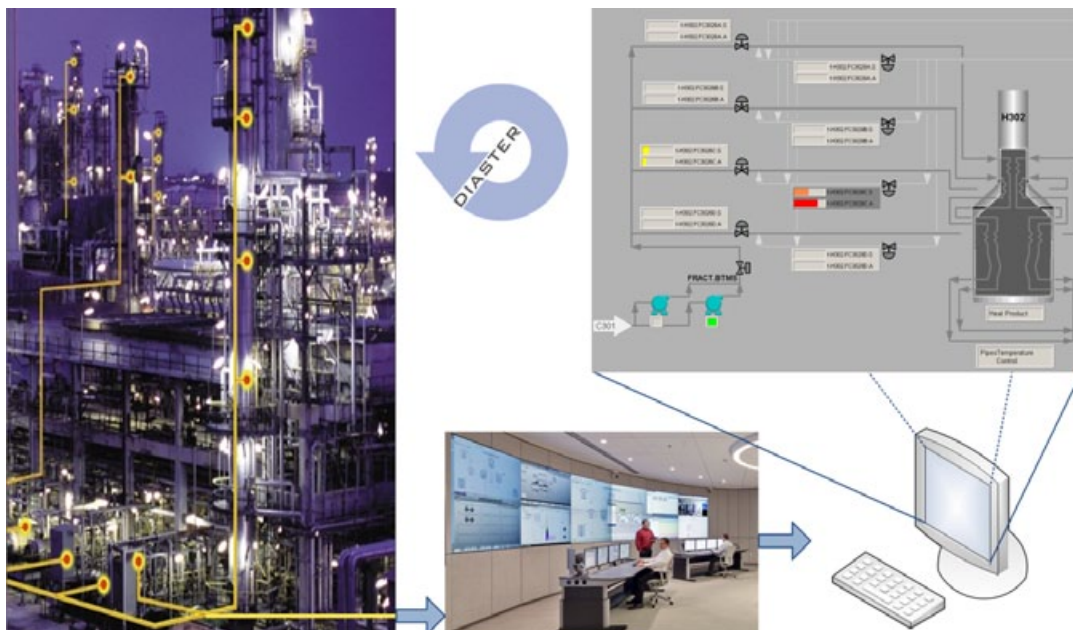
Prosimy nas odwiedzić:

AUTOMATICON – Stoisko E-1

● plastics for longer life® ... od 24 godzin!

igus®

Zamów bezpłatne próbki:
Tel. 22 863 57 70
Faks 22 863 61 69



RYS. 1

Diaster w systemie sterowania procesami przemysłowymi – graficzna wizualizacja diagnoz – wskaźniki pokazują wartość współczynnika pewności istnienia danego uszkodzenia.

W Instytucie opracowano także inteligentny ustawnik pozycyjny APIS tolerujący uszkodzenia toru sprzężenia zwrotnego produkowany w wielu wersjach przez firmę Aplisens. Ustawniki APIS znalazły zastosowanie m.in. w elektrowniach Dolna Odra, Kozienice, Opole, Siersza, cukrowni Glinojec, koksowni Rybnik i innych. Urządzenia te są eksportowane m.in. do Chile, Finlandii, Hiszpanii, Iranu, Rosji, Białorusi, Rumuni i Włoch. Ustawnik uzyskał złoty medal na Targach Automaticon w Warszawie.

W IAiR opracowano pierwszy na świecie serwer IDOS, umożliwiający rozwiązywanie zadań sterowania optymalnego za pośrednictwem Internetu. W ramach serwera IDOS dostępna jest unikatowa procedura do rozwiązywania zadań sterowania opisanych równaniami różniczkowo-algebraicznymi o wyższym indeksie.

Wiele prowadzonych prac jest związanych z zagadnieniami modelowania i symulacji procesów dynamicznych. Opracowano symulatory wykorzystywane do testowania nowych strategii sterowania oraz do szkolenia operatorów procesów: pieca pirolitycznego instalacji Olefiny 2 w PKN Orlen S.A., napędu formy szybkiej maszyny wtryskowej (grant UE – ICON HISIM), oczyszczalni ścieków, sieci gazowej w północno-wschodniej części Polski (PGNiG), bloku energetycznego, browaru.

Zainteresowania pracowników obejmują zagadnienia z zakresu robotyki przemysłowej, mobilnej i medycznej. Budowa, badania i zastosowania robotów i manipulatorów przemysłowych prowadzone były od połowy lat 70. Obecnie większość prac dotyczy robotyki mobilnej.

Rozwijane są algorytmy analizy obrazu z uwzględnieniem kontekstu, z zastosowaniem obliczeń równoległych. Nowym kierunkiem badań jest zastosowanie teorii Dempstera-Shafera w komunikacji robota z człowiekiem w języku naturalnym do analizy zdań typowych dla człowieka, ale trudnych do przetworzenia przez obecne systemy. Tematami badań są też zagadnienia związane z metodami budowania map łączących informację metryczną z informacją jakościową, która będzie łatwa do zinterpretowania zarówno przez człowieka, jak i robota. W tym celu prowadzone

były prace nad wykorzystaniem dokumentacji architektonicznej budynku do planowania akcji i planowania bezkolizyjnej ścieżki robota z uwzględnieniem przeszkód dynamicznych. Roboty mobilne i usługowe to złożone systemy-systemów (SoS), których integracja jest osobnym problemem. Dlatego realizowane są badania nad takimi algorytmami planowania akcji i planowania trasy, aby tworzyły spójny hierarchiczny algorytm planowania.

Celem prowadzonych prac jest m.in. budowa robotów przemieszczających się w środowisku naturalnym i komunikujących się z ludźmi. Takim robotem jest np. opracowany w Instytucie robot usługowy Kurier przeznaczony do realizowania typowych prac w środowisku biurowym, takich jak dystrybucja poczty i dokumentów, oprowadzanie i informowanie gości, aktywna promocja czy ochrona budynku.

Łącznie w IAiR zbudowano 15 konstrukcji mobilnych, jezdnych i kroczących, wyposażonych w nowatorskie urządzenia sensoryczne (taktylne, odometryczne, wizyjne, laserowe i skanerowe), napędowe (elektryczne i spalinowe) oraz opracowane w Instytucie sterowniki mikroprocesorowe wraz z ich oprogramowaniem nawigacyjnym.

Dużym osiągnięciem jest system fuzji obrazów wizyjnych i termowizyjnych o nazwie UFO – Układ Fuzji Obrazów, powstały w wyniku realizacji prowadzonego przez IAiR projektu NCBR i opracowany w formie prototypu. Jest on przeznaczony do zadań monitorowania środowiska i śledzenia celów w zastosowaniach zarówno cywilnych, jak i militarnych. Planowane jest jego wdrożenie jeszcze w tym roku na platformach przeciwlotniczych przez PIT-RADWAR S.A.

W IAiR w ramach pracy doktorskiej powstał robotyzowany system wspomagania operacji chirurgicznych kręgow podgłowych człowieka. Praca ta została wyróżniona w Konkursie „Młodzi Innowacyjni” (PIAP) oraz w Konkursie Siemens-Rektor Politechniki Warszawskiej, jako najlepszy, obroniony w kraju w 2011 r., doktorat w obszarze automatyki i robotyki. Kompletacja oraz prototyp systemu i większość badań laboratoryjnych zostały wykonane w Swiss Federal Institute

of Technology w Lozannie, część badań w Stanford University, Artificial Intelligence Laboratory. Certyfikacyjne testy chirurgiczne w Centre Hospitalier Vaudois w Lozannie potwierdziły osiągnięcie wszystkich założeń systemu, w tym dokładności pozycjonowania efektora prowadzącego narzędzie chirurgiczne, rzędu ułamka milimetra. W 2015 r. przewiduje się rozpoczęcie wykonywania operacji z wykorzystaniem tego robota w normalnych warunkach szpitalnych.

Wyróżnikiem Instytutu Automatyki i Robotyki na mapie krajowych ośrodków naukowych jest specjalizacja w zakresie metod detekcji, lokalizacji i identyfikacji uszkodzeń aparatów technologicznych, urządzeń pomiarowych i wykonawczych automatyki. Uszkodzenia tych urządzeń są przyczyną awarii stanowiących zagrożenie dla ludzi i środowiska oraz przynoszących poważne straty ekonomiczne. Aby operatorzy mogli podejmować skuteczne działania zabezpieczające, konieczne jest rozpoznanie sytuacji awaryjnej w czasie rzeczywistym, polegające na wskazaniu uszkodzonych elementów procesu.

Rolę systemu diagnostycznego w powszechnie stosowanych systemach sterowania pełni system alarmowy. Realizuje on wyłącznie proste algorytmy detekcji uszkodzeń, polegające na kontroli ograniczeń i ew. analizie sygnałów. Systemy alarmowe mają wiele wad, takich jak: występowanie w krótkim czasie bardzo dużej liczby alarmów w stanach z uszkodzeniami, opóźnienia detekcji oraz maskowanie uszkodzeń przez obwody regulacji. Te wady są przyczyną rozwoju zaawansowanych systemów diagnostycznych czasu rzeczywistego. W IAiR opracowano unikatowe w skali światowej systemy: DIAG (1999), AMandD (2004, w ramach grantu UE CHEM) oraz DiaSter (2009). Były one badane i wdrażane pilotażowo m.in. w Cukrowni Lublin, Zakładach Azotowych Puławy, EC Siekierki, PKN Orlen oraz w laboratorium Universite' des Sciences et Technologies de Lille. Ponadto opracowano predykcyjny detektor nieszczelności kotłów energetycznych dla Elektrowni Turów.

Przykładem badań zaawansowanych metod detekcji i lokalizacji uszkodzeń przeznaczonych dla urządzeń mechatronicznych były prace prowadzone w ramach grantu UE „Damadics” dla zespołów wykonawczych: zawór-siłownik-pozycjoner. Algorytmy takie mogą być realizowane zdalnie, a także lokalnie, przez wbudowany system diagnostyczny.

Bieżąca diagnostyka uszkodzeń urządzeń automatyki jest podstawą do budowy układów sterowania tolerujących uszkodzenia (FTC – *Fault Tolerant Control*) urządzeń pomiarowych i wykonawczych. Wczesne i precyzyjne rozpoznanie uszkodzeń umożliwia dokonywanie w sposób automatyczny rekonfiguracji układu w stanach z uszkodzeniami, w taki sposób, aby system sterowania mógł dalej funkcjonować w sposób zadawalający. W Instytucie opracowano m.in. układ regulacji turbiny kondensacyjnej tolerujący uszkodzenia torów pomiarowych.

Systemy diagnostyczne dla procesów przemysłowych oraz układy automatyki tolerujące uszkodzenia nie są jeszcze rozpowszechnione w przemyśle, lecz znajdują się na etapie badań pilotażowych i pierwszych wdrożeń. Można przewidywać, że w niedługim czasie nastąpi gwałtowny rozwój systemów sterowania wyposażonych w oprogramowanie do diagnostyki procesów i realizacji układów FTC oraz przyrost liczby zastosowań przemysłowych w tym zakresie.

Instytut Automatyki i Robotyki ściśle współpracował i współpracuje z przemysłem, a także z wieloma organizacjami i instytucjami technicznymi. Nową formą współpracy z przemysłem jest powołana we wrześniu 2013 r. Rada Przemysłowo-Programowa przy Instytucie Automatyki i Robotyki, w skład której wchodzi przedstawiciele firm – producentów i odbiorców urządzeń i systemów automatyki oraz robotyki, jak i firm projektujących i wdrażających systemy sterowania, m.in. PKN Orlen S.A., FANUC Robotics Polska Sp. z o.o., PIT-RADWAR S.A., SIEMENS Sp. z o.o., UDT, WIKA Polska S.A., ABB Sp. z o.o., EMERSON Sp. z o.o., FESTO Sp. z o.o.,



FOT. 2
Robot Kurier opracowany w IAiR



NIVELCO

Pomiary to nasza specjalność!

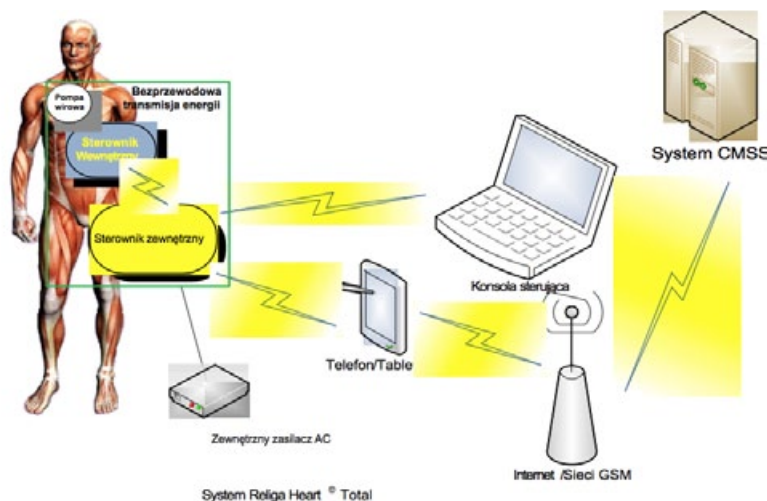
POMIARY:

- ▶ Poziomu materiałów sypkich
- ▶ Przepływu materiałów sypkich
- ▶ Emisja pyłu i pył zawieszony
- ▶ Temperatura w silosach zbożowych
- ▶ Aeracja materiałów sypkich

NIVELCO-POLAND Sp. z o.o.
ul. Czerwonaka 44B, 44-100 Gliwice
tel.: 32 270 37 01, fax: 32 270 38 32
poland@nivelco.pl www.nivelco.pl



Z NIVELCO ...wiesz ile masz



RYS. 2
Struktura systemu monitorowania urządzeń wspomaganie pracy serca

AB Industry S.A., SKAMER-ACM Sp. z o.o. czy SABUR Sp. z o.o. Zadaniem Rady jest doradztwo w zakresie kierunków rozwoju techniki i wynikających stąd tematów badawczych oraz opiniowanie programów nauczania na studiach stacjonarnych i podyplomowych prowadzonych przez Instytut Automatyki i Robotyki. Ponadto wielu studentów kierunku AiR odbywa swoje praktyki w firmach reprezentowanych w Radzie.

D.Ch.: W wywiadzie dla naszego czasopisma Pan Prof. Antoni Kalukiewicz, dziekan Wydziału Inżynierii Mechatronicznej i Robotyki AGH, wyraził pogląd, że w zakresie badań w dziedzinie robotyki polska nauka nie ustępuje światowej czołówce. W podobnym tonie wypowiedzieli się także Dyrektorzy Instytutów Automatyki z Politechnik Śląskiej oraz Łódzkiej. Jaka jest opinia Pana Dyrektora na ten temat? Jakie trendy rozwojowe, Pana zdaniem, można zaobserwować w obszarze ogólnie rozumianej automatyki przemysłowej?

J.M.K.: Zgadzam się z tymi wypowiedziami. Sądzę, że także badania w zakresie automatyki są w Polsce prowadzone na bardzo wysokim poziomie, który został zainicjowany w pracach nestorów polskiej automatyki – profesorów Władysława Findeisena, Tadeusza Kaczorka i Henryka Góreckiego. Jest on nadal utrzymywany. Myślę, że potwierdzenie tej opinii znajdą czytelnicy w mojej odpowiedzi na poprzednie pytanie dotyczące badań prowadzonych w Instytucie Automatyki i Robotyki.

Jeśli mierzyć efektywność osiągnięć naukowych jako stosunek uzyskiwanych rezultatów do środków finansowych przeznaczonych na naukę, to na pewno polska nauka w dziedzinie automatyki i robotyki miałaby miejsce medalowe. Niestety instytutom bardzo brakuje tych środków potrzebnych na finansowanie nowych koncepcji naukowych (w początkowej fazie, zanim osiągną poziom dojrzałości uprawniający do ubiegania się o grant), rozwój laboratoriów, wyjazdy konferencyjne itp.

Rozumiem, że pytanie o trendy rozwojowe w automatyce przemysłowej dotyczy techniki automatyzacji, a nie teorii sterowania, aczkolwiek istnieje między nimi ścisły związek. Uważam, że głównymi kierunkami rozwojowymi będą metody i środki zapewniające pod-

wyższenie bezpieczeństwa procesów i ograniczające straty w stanach awaryjnych, implementacja zaawansowanych algorytmów sterowania w nowych rozwiązaniach systemów automatyki oraz rozwój metod automatycznego wydobywania wiedzy z baz danych czasu rzeczywistego, tzw. hurtowni danych procesowych.

Bezpieczeństwo jest chyba najważniejszym z wymagań stawianych systemom sterowania; szczególnie odnosi się to do sterowania procesami stwarzającymi ryzyko wystąpienia poważnej awarii, której skutki mogą być katastroficzne (jak np. poważna emisja substancji toksycznych, pożar lub eksplozja). Zagrożenie poważnymi awariami jest największe w państwach uprzemysłowionych, ze względu na nagromadzenie zakładów dużego ryzyka. Pojawiły się międzynarodowe standardy działań mających zapewnić bezpieczeństwo. Powszechnie stosowane przyrządowe systemy bezpieczeństwa SIS (*Safety Instrumented Systems*) realizują algorytmy blokad i zabezpieczeń automatycznych, których zadaniem jest niedopuszczenie do katastrofy. Zwykle jednak działania SIS wiążą się z zatrzymaniem całego lub części procesu, co prowadzi do strat ekonomicznych. Dlatego celowe jest stosowanie rozwiązań, które mogą zagwarantować eliminację zagrożeń we wczesnym ich stadium i tym samym nie dopuścić do zadziałania SIS i odstawienia procesu. Rozwiązaniami takimi są:

- systemy zaawansowanej diagnostyki czasu rzeczywistego procesów, które zastąpią docelowo systemy alarmowe;
- diagnostyka wbudowana urządzeń pomiarowych i wykonawczych;
- układy sterowania tolerujące uszkodzenia;
- sensory różnego rodzaju uszkodzeń i zjawisk destrukcyjnych;
- symulatory procesów do szkolenia operatorów.

Ważnym kierunkiem rozwojowym w obszarze automatyki przemysłowej będzie nowa generacja systemów sterowania klasy DCS, a także sterowników PAC, w których zostaną zaimplementowane w formie konfigurowalnej zaawansowane algorytmy sterowania: predykcyjne (MPC – *Model Predictive Control*), adaptacyjne, tolerujące uszkodzenia, o samoczynnym strojeniu i o projektowanej odporności na określone klasy zakłóceń. W systemach tych coraz większą rolę będą odgrywać sieci bezprzewodowe.

Odrębnym kierunkiem rozwoju są algorytmy przeznaczone do eksploracji danych (*data mining*) gromadzonych w hurtowniach danych systemów automatyki. Przykładem eksploracji może być budowa modeli jakościowych procesów w postaci grafów reprezentujących związki między zmiennymi pomiarowymi. Na podstawie takiego grafu mogą zostać określone struktury modeli cząstkowych, a w następnym kroku zbudowane modele ilościowe na podstawie danych pomiarowych. Można sobie wyobrazić, że na podstawie danych w sposób automatyczny utworzony zostanie także symulator procesu. Znając odpowiednie modele możemy automatyzować projektowanie układów sterowania, optymalizacja a także diagnostyki.

D.Ch.: Dziękuję za rozmowę.