

# PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY ELECTRICAL REVIEW

ROK LXXXV



[www.kongres-sep.pl](http://www.kongres-sep.pl)



[www.kongres-sep.pl](http://www.kongres-sep.pl)



Jubileusz 90 – lecia  
Stowarzyszenia Elektryków Polskich  
pod  
Honorowym Patronatem  
Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej  
Lecha Kaczyńskiego



## I KONGRES ELEKTRYKI POLSKIEJ Warszawa, 2-4 września 2009 r.

Weź udział w sesjach poświęconych historii, aktualnym problemom i przyszłości polskiej elektryki

### Elektroenergetyka

Odnawialne źródła energii :: Ochrona środowiska w energetyce :: Przesył i rozdział energii :: Energetyka jądrowa :: Polityka energetyczna

### Elektrotechnika

Polski przemysł elektrotechniczny :: Technika świetlna :: Trakcja i pojazdy elektryczne :: Instalacje elektryczne i ochrona przeciwporażeniowa

### Elektronika i Automatyka

Optoelektronika :: Automatyka i Robotyka :: Mechatronika :: Automatyzacja procesów przemysłowych :: Automatyka elektroenergetyczna

### Telekomunikacja

Nowoczesne systemy i urządzenia telekomunikacyjne :: Problematyka społeczeństwa informacyjnego :: Urządzenia telekomunikacyjne

### Informatyka

Technologie internetowe :: Systemy informatyczne (cybernetyka) :: Metody informatyczne w elektrotechnice

### Historia

Wybitni Elektrycy :: Historia Stowarzyszenia Elektryków Polskich :: Wybitni elektrycy okresu międzywojennego

### Panel i spotkania dyskusyjne

Nauka i kształcenie elektryków :: Kierunki rozwoju współczesnej elektryki – konferencja prasowa :: Normy elektryczne – Certyfikacja

ELEKTROBUDOWA S A  
Główny Sponsor Kongresu

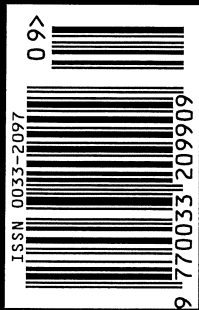


STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH  
00-050 Warszawa ul Świątokrzyska 14  
+ 48 022 556 43 02, 07  
[ot.sep@sep.com.pl](mailto:ot.sep@sep.com.pl) :: [www.kongres-sep.pl](http://www.kongres-sep.pl)  
szczegóły, kontakt, zgłoszenie uczestnictwa

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
Miejsce Obrad Kongresu



cena 20,00 zł  
(w tym "0" VAT)



# PRZEGŁĄD ELEKTROTECHNICZNY ELECTRICAL REVIEW

ROK LXXXV


**Redaktor Naczelny:** prof. dr hab. inż. Sławomir Tumański (e-mail: [tusla@iem.pw.edu.pl](mailto:tusla@iem.pw.edu.pl))  
**Redakcja:** e-mail: [red.pe@iem.pw.edu.pl](mailto:red.pe@iem.pw.edu.pl); [red.pe@sigma-not.pl](mailto:red.pe@sigma-not.pl), Internet: [www.red.pe.org.pl](http://www.red.pe.org.pl)

## RADA PROGRAMOWA

Prof. Jerzy Barglik – PŚI, Prezes SEP	Prof. Teresa Orłowska-Kowalska – PWR
Prof. Roman Barlik – PW	Prof. Stanisław Osowski – PW
Prof. Jerzy Barzykowski – WAT	Prof. Marian Pasko – PŚI
Prof. Jan T. Białasiewicz - Univ. of Colorado at Denver, USA	Prof. Maciej Pawlik – PŁ
Prof. Janusz Bialek – Univ. of Edinburgh, Wlk. Brytania	Prof. Lidija Petkovska - Ss. Cyril & Methodius Univ., Macedonia
Prof. Andrzej Cichocki – Riken, Brain Science Inst., Japonia	Prof. Andrzej Piłatowicz – Inst. Energetyki
Prof. Leszek Czarnecki – Louisiana St. Univ. USA	Prof. Stanisław Piróg – AGH
Prof. czł. PAN Mirosław Dąbrowski – PP	Prof. Paweł Ripka – Czech Technical University in Prague
Prof. Władysław Dybczyński – PBiał	Prof. Ryszard Sikora – PSzcz
Prof. Zdobysław Flisowski – PW	Prof. Adam Skorek – Univ. du Québec a Trois-Rivieres, Kanada
Prof. Yoshiyuki Ishihara – Doshisha University, Japonia	Prof. Ryszard Strzelecki – Akademia Morska, Gdynia
Prof. czł. PAN Tadeusz Kaczorek – PW	Dr Bojan Stumberger - University of Maribor, Slovenia
Prof. czł. PAN Marian Kaźmierkowski – PW	Prof. Jan Sykalski – Univ. of Southampton, Wlk. Brytania
(przewodniczący)	Prof. czł. PAN Tadeusz Śliwiński – Inst. Elektr.
Prof. Krzysztof Kluszczyński – PŚI	Prof. czł. PAN i PAU Ryszard Tadeusiewicz – AGH
Prof. czł. PAN Józef Korbicz – Uniw. Zielonogórski	Prof. Sławomir Wiak – PŁ
Prof. Andrzej Krawczyk – CIOP	Prof. Andrzej Wiszniewski – PWR
Prof. Jan Machowski – PW	Prof. Bogdan M. 'Dan' Wilamowski - Auburn University, USA
Prof. Jan Maksymiuk – PW	Prof. czł. PAN Jacek M. Żurada, Univ. of Louisville, USA
Prof. czł. PAN Jacek Marecki – PG	
Prof. Ryszard Nawrowski - PPoz	

**Uwaga: pojedyncze numery (wersję papierową PE) można zamawiać wysyłając mail na adres:**  
[kolportaz@sigma-not.pl](mailto:kolportaz@sigma-not.pl)

Oferta ważna do wyczerpania zapasów magazynowych  
 Od kwietnia numery PE można też kupować w sklepach „empik”.

<p>WYDAWNICTWO ZASOPISM I KSIĄŻEK TECHNICZNYCH</p>  <p><b>SIGMA-NOT</b> Spółka z o.o.</p> <p>00-950 Warszawa skrytka pocztowa 1004 ul. Ratuszowa 11 <a href="http://www.sigma-not.pl">www.sigma-not.pl</a></p>	Internet: <a href="http://www.red.pe.org.pl">http://www.red.pe.org.pl</a> oraz <a href="http://www.sigma-not.pl">http://www.sigma-not.pl</a> E-mail: <a href="mailto:red.pe@sigma-not.pl">red.pe@sigma-not.pl</a>
	Adres Redakcji: 00-950 Warszawa, Skrytka poczt. 1004, ul. Ratuszowa 11 Tel/fax: 22 818 9510, 0 693 428 056
	Prenumerata: e-mail: <a href="mailto:kolportaz@sigma-not.pl">kolportaz@sigma-not.pl</a> , tel./fax: 840-35-89 Wpłata na prenumeratę: Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o. Zakład Kolportażu, 00-950 Warszawa, skr. poczt. 1004 Konto: Bank PEKAO SA Nr 81 1240 6074 1111 0000 4995 0197
	<b>Możliwe jest też zamówienie prenumeraty za pośrednictwem naszego portalu <a href="http://www.sigma-not.pl">www.sigma-not.pl</a></b>
	Dział Reklamy i Marketingu, ul. Mazowiecka 12, 00-950 Warszawa skrytka pocztowa 1004, tel. 827-43-66, fax 826-80-16, E-mail: <a href="mailto:reklama@sigma-not.pl">reklama@sigma-not.pl</a> Redakcja nie odpowiada za treść ogłoszeń
	Egzemplarze archiwalne można nabyć w punkcie sprzedaży SIGMA-NOT 00-950 Warszawa, ul. Mazowiecka 12, tel. 826-80-16 <b>Artykuły w formacie PDF poczynając od 2004 roku dostępne na naszym portalu <a href="http://www.sigma-not.pl">www.sigma-not.pl</a></b>
Skład: Redakcja Druk: Drukarnia SIGMA-NOT	
Index 37084 nakład do 700 egz. PL ISSN 0033-2097	

Przegląd Elektrotechniczny jest dofinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.  
 Wszystkie artykuły naukowe publikowane w *Przeglądzie Elektrotechnicznym* są recenzowane. Streszczenia artykułów są publikowane w międzynarodowych bazach INSPEC, SCOPUS i Copernicus. Za artykuły publikowane w *Przeglądzie Elektrotechnicznym* Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego przyznaje 6 pkt (komentarz na naszej stronie www).

**Przegląd Elektrotechniczny jest indeksowany przez Thomson Scientific Institute (lista filadelfijska)**

01	Wstęp	1
02	Edward ANDERSON, Janusz KAROLAK - Zjawiska ferorezonansowe w sieciach elektroenergetycznych	3
03	Lech BALCEROWSKI, Andrzej PATRYCY - Organizacja projektowania i budowy elektrowni jądrowej w Polsce z uwzględnieniem Systemu Zapewnienia Jakości	10
04	Narcyza BARCZAK-ARASZKIEWICZ - Przemysł oświetleniowy w Polsce – szanse i wyzwania	13
05	Jerzy BARGLIK - Nagrzewanie indukcyjne w poprzecznym polu magnetycznym -modelowanie matematyczne i weryfikacja doświadczalna	17
06	Andrzej BARTOSZEWICZ - Sterowanie ślizgowe – odporna metoda regulacji obiektów dynamicznych	24
07	Jacek BAURSKI - Elektrociepłownie jądrowe dla Warszawy czyli jak ogrzać i oczyścić Miasto	30
08	Andrzej BIAŁOŃ, Juliusz FURMAN, Paweł GRADOWSKI - Zakłócenia generowane do sieci trakcyjnej przez nowoczesne pojazdy trakcyjne na przykładzie lokomotywy „Husarz”	33
09	Andrzej BIAŁOŃ, Jerzy MIKULSKI - Wpływ typu ogrzewania rozjazdów na zużycie energii elektrycznej	37
10	Piotr BOGORODZKI - Obrazowanie czynności mózgu techniką rezonansu magnetycznego	40
11	Jarosław BUGAJ, Marian WNUK - Analiza wielowarstwowej anteny konformalnej pracującej w paśmie X	46
12	Marek BUGAJ, Marian WNUK - Wpływ parametrów dielektryka w wielowarstwowej antenie planarnej zasilanej szczelinowo na szerokość jej pasma pracy	50
13	Konrad DABAŁA - Modele przepływu mocy stosowane przy wyznaczaniu sprawności silników indukcyjnych klatkowych	54
14	Konrad DABAŁA, Zdzisław KRZEMIEN - Nowatorska mikro elektrownia rzeczna	58
15	Andrzej DEMENKO - Dyskretne metody opisu pola elektromagnetycznego	62
16	Antoni DMOWSKI, Piotr BICZEL, Bernard SZYMAŃSKI - Rola i zastosowania układów energoelektronicznych w energetyce odnawialnej	68
17	Ryszard DOLNY, Krzysztof MADAJEWSKI, Mariusz MAZUR - Automatyka regulacji napięcia w krajowym systemie elektroenergetycznym	74
18	Stefan DOMEK, Krzysztof PIETRUSEWICZ - Mechatronika w doskonaleniu konwencjonalnych urządzeń technicznych na przykładzie obrabiarki wielofunkcyjnej	81
19	Konrad DOMKE - Grafika komputerowa – pomiędzy techniką świetlną a informatyką	88
20	Bolesław DUDOJC - Zastosowanie iskrobezpiecznych torów pomiarowych w dwuprzewodowym standardzie 4-20mA na statkach morskich	94
21	Tomasz DZIŁ, Paweł POŚPIECH, Mirosław STEPIEN - Układy falowników o podwyższonej niezawodności w wybranych rozwiązaniach firmy APS Energia	102
22	Wiesław GIL, Marek WAWRZYŃIAK, Przemysław WRONEK - System zarządzania siecią energetyczną z serwerami procesów	108
23	Małgorzata GÓRCZEWSKA - Polska szkoła iluminacji obiektów	112
24	Wojciech GREGA - Odporne układy automatyki rozproszonej	115
25	Grzegorz GRZEGORZYCA, Andrzej SANOCKI - 25 lat doświadczeń w cyfrowej rejestracji i analizie przebiegów elektrycznych w energetyce	123
26	Jerzy HICKIEWICZ - Początki elektrotechnicznego szkolnictwa wyższego w Polsce	131
27	Wojciech KABACIŃSKI, Janusz KLEBAN oraz Mariusz ŻAL - Rozwój optycznych sieci dostępowych	137
28	Grzegorz KAMIŃSKI - Aktuatory i napędy o ruchu złożonym jako elektrotechniczne elementy mechatroniki	146
29	Stefania KASPRZYK - Program polskiej energetyki jądrowej – najkorzystniejsze lokalizacje, moce w tych lokalizacjach, rozwój i modernizacja sieci NN i rozdzielni NN	153
30	Piotr KAŻMIERCZAK, Maciej ŁUKASIK - Rozwój systemów oświetlenia i sygnalizacji świetlnej w samochodach	159
31	Adam KEMPSKI, Robert SMOLEŃSKI - Kompatybilność elektromagnetyczna układów energoelektronicznych	164
32	Zbigniew KIERZKOWSKI - Wirtualna organizacja działań w rozwoju technologii społeczeństwa informacyjnego	172
33	Zbigniew KIERZKOWSKI, Piotr TARŁOWSKI - Wirtualne systemy informacji przedmiotowej	179
34	Krzysztof KLUSZCZYŃSKI - Mechatronika – moda, czy nieuchronność?	182
35	Grzegorz KŁAPYTA, Paweł KOWOL - Materiały typu SMART jako komponenty systemów mechatronicznych	187
36	Józef KORBICZ - Sztuczne sieci neuronowe i ich zastosowanie w elektrotechnice i energetyce	194
37	Karol KORCZ - Wczoraj, dziś i jutro systemu GMDSS	201
38	Jan Maciej KOŚCIELNY - Zaawansowana diagnostyka procesów i układy regulacji tolerujące uszkodzenia	207
39	Zygmunt KURAN, Sylwia WRÓBLEWSKA - Prace Instytutu Energetyki w dziedzinie EAZ	215
40	Jan KWIATKOWSKI, Marcin PAWLIK - Budowa struktur gridowych współdziałających komputerów i agregacji zasobów w strukturach organizacyjnych	221
41	Krzysztof LEWENSTEIN, Elżbieta ŚLUBOWSKA, Rafał ŚLUBOWSKI - Wykrywanie uzależnienia alkoholowego na podstawie analizy polisomnogramu z wykorzystaniem sieci neuronowych	226
42	Aleksander LISOWIEC, Andrzej NOWAKOWSKI, Zdzisław KOŁODZIEJCZYK, Bogdan MIEDZIŃSKI - E-diagnozowanie energetycznych sieci rozdzielczych	232
43	Michał LISOWSKI - Wzorce dużych rezystancji i stratności dielektrycznej materiałów izolacyjnych	236
44	Józef LORENC, Witold HOPPEL - Techniczne środki wspomagające działanie zabezpieczeń ziemnozwarciowych w sieciach SN	241
45	Fryderyk ŁASAK - Błędy spotykane przy badaniach instalacji elektrycznych niskiego napięcia	249
46	Marek ŁOBODA - Detekcja wyładowań atmosferycznych na obszarze Polski	256
47	Jacek MALKO - Polityka energetyczna państwa do 2030 roku	261
48	Jerzy MIKULSKI, Jakub MŁYNIAK - Wykorzystanie systemu monitoringu GPS do oceny parametrów energetycznych lokomotyw spalinowych	268
49	Jan MUČKO - Wybrane zastosowania technologiczne falowników rezonansowych	273
50	Andrzej NAPIERAŁSKI, Michał SZERMER, Krzysztof SZANIAWSKI, Michał OLSZACKI, Cezary MAJ - Aktuatory i sensory w technologii MEMS jako mikroelektromaszynowe elementy mechatroniki	279
51	Waldemar NAWROCKI - Wzorce kwantowe wielkości elektrycznych	287
52	Andrzej NOWAKOWSKI - Teleinformatyczny system integrujący rozproszone źródła i zasobniki energii odnawialnej	291
53	Janusz NOWASTOWSKI, Jan GROBICKI - Polski przemysł kablowy	298
54	Paweł OLKO, Natalia GOLNIK - Akcelerator do radioterapii protonowej w projekcie Narodowego Centrum Radioterapii Hadronowej	304
55	Jan PABIĄNCZYK - Zasilanie i tabor trakcyjny PKP w warunkach członkostwa Polski w Unii Europejskiej	308
56	Tadeusz PAŁKO, Natalia GOLNIK, Zbigniew DUNAJSKI, Grzegorz PAWLICKI - Postęp elektrotechniki a rozwój inżynierii biomedycznej	312
57	Maciej PAWLIK - Klasyczne technologie wytwarzania energii elektrycznej w świetle pakietu klimatycznego UE	316
58	Stanisław PIROG - Elektromechaniczny magazyn energii jako system mechatroniczny nowej generacji	321
59	Piotr PRACKI - Efektywność energetyczna oświetlenia obiektów użyteczności publicznej	328
60	Andrzej SOWA - Koordynacja rozwiązań ochrony odgromowej z wymaganiami kompatybilności elektromagnetycznej	332
61	Franciszek STRZELCZYK - Odnawialne źródła energii w systemie elektroenergetycznym	340
62	Renata SULIMA - Konstrukcja mikroprzełącznika elektrostatycznego do aplikacji OXC	350
63	Mariusz SZWEDA - Wybrane zagadnienia jakości energii elektrycznej na statkach morskich	355
64	Jerzy SZYMAŃSKI - Napęd przekształtnikowy w górnictwie i przemyśle wydobywczym	361
65	Piotr SZYNKARCZYK, Jan JABŁKOWSKI - Tendencje rozwojowe robotyki mobilnej na przykładzie robotów dla wojska i służb specjalnych	366
66	Bogdan ŚLĘK - Zmierzch żarówek – i co dalej?	372
67	Jacek ŚWIĄTEK, Witold HEJNRYCH - Regeneracja stacjonarnych baterii kwasowo-ołowiowych	376
68	Zbigniew ŚWIDER, Leszek TRYBUS - Samostrojenie i adaptacja w regulatorach przemysłowych	382
69	Wojciech ŻAGAN, Norbert WASSERFURTH - Wizualizacja komputerowa oświetlenia – nowa jakość w projektowaniu	388
70	Contents	395
71	Spis treści	396

01	Introduction to Congress of Polish Electrical Engineers	1
02	Edward ANDERSON, Janusz KAROLAK - Ferroresonance phenomena in electrical networks	3
03	Lech BALCEROWSKI, Andrzej PATRYCY - Designing and organization of Nuclear Power Station construction, basing on Zarnowiec NPS project example	10
04	Narcyza BARCZAK-ARASZKIEWICZ - The lighting industry in Poland – opportunities and challenges	13
05	Jerzy BARGLIK - Induction heating in transversal magnetic field – mathematical modeling and experimental verification	17
06	Andrzej BARTOSZEWICZ - Sliding Mode Control – robust regulation technique for dynamic systems	24
07	Jacek BAURSKI - Nuclear power station for Warsaw	30
08	Andrzej BIAŁOŃ, Juliusz FURMAN, Paweł GRADOWSKI - Disturbances into the contact line generated by modern traction units – the case of the Husarz locomotive	33
09	Andrzej BIAŁOŃ, Jerzy MIKULSKI - Influence of the type of heating of point switches on energy consumption	37
10	Piotr BOGORODZKI - Imaging of brain activity by magnetic resonance	40
11	Jarosław BUGAJ, Marian WNUK - Analysis of conformal multilayer antenna working in X band	46
12	Marek BUGAJ, Marian WNUK - Influence of parameters of dielectric in aperture-coupled stacked patch antenna on bandwidth	50
13	Konrad DĄBAŁA - Models of power flow used for induction squirrel-cage motors efficiency determination	54
14	Konrad DĄBAŁA, Zdzisław KRZEMIEŃ - Innovative river micro power plant	58
15	Andrzej DEMENKO - Discrete description of electromagnetic field	62
16	Antoni DMOWSKI, Piotr BICZEL, Bernard SZYMAŃSKI - The role and utilization of power electronics converters in renewable energy systems	68
17	Ryszard DOLNY, Krzysztof MADAJEWSKI, Mariusz MAZUR - Voltage control in Polish Power System	74
18	Stefan DOMEK, Krzysztof PIETRUSEWICZ - Mechatronics for the improvement of the conventional technical system purposes – multi-functional machine tool example	81
19	Konrad DOMKE - Computer Graphics – between Lighting Engineering and Computer Science	88
20	Bolesław DUDOJC - The use of intrinsically safe measurement lines in two-wire standard 4-20mA on sea ships	94
21	Tomasz DZIŁ, Paweł POŚPIECH, Mirosław STĘPIEŃ - Inverter systems of advanced reliability in selected APS Energia solutions	102
22	Wiesław GIL, Marek WAWRZYŃIAK, Przemysław WRONEK - Network management system with process servers	108
23	Małgorzata GÓRCZEWSKA - Polish Architectural Lighting Design	112
24	Wojciech GREGA - Robust distributed control systems	115
25	Grzegorz GRZEGORZYCA, Andrzej SANOCKI - 25 years experiences in digital data acquisition, recording and analysis of electrical quantities	123
26	Jerzy HICKIEWICZ - The origins of electrotechnical education at Polish universities	131
27	Wojciech KABACIŃSKI, Janusz KLEBAN oraz Mariusz ŻAL - Evolution of Optical Access Networks	137
28	Grzegorz KAMIŃSKI - Actuators and complex motion electrical motors as tools for mechatronics	146
29	Stefania KASPRZYK - Program of Polish Nuclear Energy – the analysis of future development of transmission system	153
30	Piotr KAŻMIERCZAK, Maciej ŁUKASIK - Development of vehicle lighting and signaling systems	159
31	Adam KEMPSKI, Robert SMOLEŃSKI - Electromagnetic compatibility in power electronic systems	164
32	Zbigniew KIERZKOWSKI - Virtual Activities Organization – development of information society	172
33	Zbigniew KIERZKOWSKI, Piotr TARŁOWSKI - Virtual information environment development	179
34	Krzysztof KLUSCZYŃSKI - Mechatronics – the most important features	182
35	Grzegorz KŁAPYTA, Paweł KOWOL - Smart materials as a components of mechatronic systems	187
36	Józef KORBICZ - Artificial neural networks and their application in electrical and power engineering	194
37	Karol KORCZ - Yesterday, today and tomorrow of the GMDSS	201
38	Jan Maciej KOŚCIELNY - Advanced diagnostics of processes and fault tolerant control systems	207
39	Zygmunt KURAN, Sylwia WRÓBLEWSKA - The protection system tasks in the Institute of Power Engineering	215
40	Jan KWIAKOWSKI, Marcin PAWLIK - Using Grid Computing at Enterprise Level	221
41	Krzysztof LEWENSTEIN, Elżbieta ŚLUBOWSKA, Rafał ŚLUBOWSKI - Neural networks application in diagnosing alcohol addiction on the basis of the sleep analysis	226
42	Aleksander LISOWIEC, Andrzej NOWAKOWSKI, Zdzisław KOŁODZIEJCZYK, Bogdan MIEDZIŃSKI - E-diagnosis of power switching networks	232
43	Michał LISOWSKI - Standards of High Value Resistances and Dielectric Loss of Insulation Materials	236
44	Józef LORENC, Witold HOPPEL - Technical methods supporting operation of earth fault protections in medium voltage networks	241
45	Fryderyk ŁASAK - Errors occurred by typical investigations of low voltage installations	249
46	Marek ŁOBODA - Automatic operated detection of lightning over Poland	256
47	Jacek MALKO - The Energy Policy of Poland until year 2030	261
48	Jerzy MIKULSKI, Jakub MŁYŃCZAK - Using the monitoring GPS system for the evaluation of diesel engines energy parameters	268
49	Jan MUČKO - Selected technological applications of resonant inverters	273
50	Andrzej NAPIERAŁSKI, Michał SZERMER, Krzysztof SZANIAWSKI, Michał OLSZACKI, Cezary MAJ - Sensors and actuators in MEMS technologies as the elements of mechatronics	279
51	Waldemar NAWROCKI - Quantum standards of electrical quantities	287
52	Andrzej NOWAKOWSKI - Tele-information system integrating scattered sources and containers of renewable energy	291
53	Janusz NOWASTOWSKI, Jan GROBICKI - Polish Cable Industry	298
54	Paweł OLKO, Natalia GOLNIK - Accelerator for proton radiotherapy in the project of Cyclotron Centre Bronowice	304
55	Jan PABIAŃCZYK - PKP railway supply and rolling stocks as Poland became EU member	308
56	Tadeusz PAŁKO, Natalia GOLNIK, Zbigniew DUNAJSKI, Grzegorz PAWLICKI - Electrical engineering progress and development of biomedical engineering	312
57	Maciej PAWLIK - Conventional technologies of power generation in a view of the UE climate package	316
58	Stanisław PIROG - Electromechanical energy storage as a new generation mechatronic system	321
59	Piotr PRACKI - Energy efficiency of lighting in public places	328
60	Andrzej SOWA - Coordination the solutions of lightning protection system with electromagnetic compatibility requirements	332
61	Franciszek STRZELCZYK - Renewable energy sources in power system	340
62	Renata SULIMA - Design of an electrostatic microswitch for OXC applications	350
63	Mariusz SZWEDA - Selected problems of electric power quality on ships	355
64	Jerzy SZYMAŃSKI - Power converters' drives in lignite and other surface mining industry	361
65	Piotr SZYNKARCZYK, Jan JABŁKOWSKI - Tendencies in Design of EOD/IEDD Robots	366
66	Bogdan ŚLĘK - Twilight of traditional bulbs and next perspectives of light sources	372
67	Jacek ŚWIĄTEK, Witold HEJNRYCH - Regeneration of lead acid batteries	376
68	Zbigniew ŚWIDER, Leszek TRYBUS - Self-tuning and adaptation for industrial PID controllers	382
69	Wojciech ŻAGAN, Norbert WASSERFURTH - Computer visualisation of lighting - a new tool of designing	388
70	Contents	395
71	Spis treści	396



# Mechatronika w doskonaleniu konwencjonalnych urządzeń technicznych na przykładzie obrabiarki wielofunkcyjnej

**Streszczenie.** Przedstawiony w niniejszym artykule materiał stanowi wycinek prac nad problematyką prototypu inteligentnej samodiagnostującej swój stan pracy a następnie aktywnie reagującej na warunki otoczenia wielofunkcyjnej obrabiarki CNC (intelligent Computer Numerical Control - iCNC). Otwartość opracowanego systemu sterowania pozwala na implementację rozmaitych algorytmów sterowania napędami, dzięki którym możliwa jest zarówno poprawa jakości obróbki skrawaniem, ale również, a może przede wszystkim dowolna rozbudowa i rekonfiguracja interfejsu człowiek-maszyna opracowanego rozwiązania.

**Abstract.** The presented here paper considers the partial work on the project of iCNC prototype – intelligent self-diagnosis and active-reacting multifunctional machine tool. Openness of the developed control system lets the potential user to implement the motion as well as the diagnostics and tool-path correcting control algorithms for the increase of the overall cutting quality. Also the operator interface can be freely designed and re-configured. (Mechatronics for the improvement of the conventional technical system purposes – multifunctional machine tool example).

**Słowa kluczowe:** mechatronika, obrabiarka CNC, otwartość systemu sterowania.

**Keywords:** mechatronics, CNC machine tool, openness of the control system.

## Wprowadzenie

Zagadnienia mechatroniki, rozumianej jako sposób nadawania urządzeniom technicznym nowej i doskonalenia już istniejącej funkcjonalności rozważane są przez różnych badaczy od dłuższego czasu. Pojęcie mechatroniki istnieje w języku technicznym od równo czterdziestu już lat – to tyle, ile ma historia programowalnych sterowników logicznych (PLC), stosowanych od początków swojego istnienia do sterowania maszynami technologicznymi, współcześnie dość często w połączeniu z komputerami osobistymi klasy PC [1].

Z punktu widzenia mechatroniki obrabiarka sterowana numerycznie z jednej strony stanowi niezwykle wdzięczny obiekt badań, łączący w swym działaniu zagadnienia: mechaniki, elektrotechniki, elektroniki i automatyki, czy wreszcie informatyki stosowanej. Z drugiej jednak strony nie bez powodu zwykło się określać obrabiarki CNC „arystokratami” wśród obiektów sterowania – choćby z uwagi na bardzo wysoki poziom skomplikowania różnorodnych procesów (tak mechanicznych jak i elektrycznych) zachodzących podczas obróbki skrawaniem.

Współcześnie dynamiczny rozwój techniki mikroprocesorowej sprawił, iż doskonale z punktu widzenia konstrukcyjnego rozwiązania konwencjonalnych maszyn obróbkowych (frezarek, tokarek) można, w mechatroniczny sposób, przekształcić w urządzenia wielofunkcyjne o nowych i/lub poprawionych właściwościach [2].

Wraz z rozwojem mechatroniki, kilkanaście lat temu do języka technicznego weszło określenie układów sterowania o otwartej architekturze, bądź wprost otwartych układów sterowania [3-7]. Jak rozumiano to pojęcie, gdy się pojawiło, co oznaczało kilkanaście lat temu, a jak jest interpretowane współcześnie? Jaki jest związek mechatroniki, systemów sterowania o otwartej architekturze i maszyn technologicznych, w tym obrabiarek wielofunkcyjnych? Niniejszy artykuł pokazuje ten związek, potwierdzając jednocześnie wyjątkowe korzyści, płynące dla użytkowników z tego powiązania.

W otwartości systemów sterowania elastycznych systemów wytwarzania już od blisko dziesięciu lat upatrywano głównego kierunku ich rozwoju [8], jednocześnie wykazując przewagę takiego rozwiązania nad systemami zamkniętymi, dedykowanymi dla jednego rodzaju procesu technologicznego.

W pracy [9] omówiono możliwości inteligentnej diagnostyki frezarki sterowanej numerycznie. Dzięki systemom o otwartej architekturze możliwa obecnie staje się integracja tego typu funkcjonalności już wewnątrz samego systemu. Z kolei w pracy [10] w dość interesujący sposób omówiono zagadnienie integracji stacji obróbkowej z wyższymi warstwami zarządzania produkcją w przedsiębiorstwie na przykładzie nowego

sposobu programowania obrabiarki z poziomu projektu w systemie CAM. Zagadnienie to znacznie rozwinęto w pracy [11], wskazując na konieczność ujednolicenia (STEP-NC) projektowania procesów technologicznych jak również programowania obrabiarek. Autorzy stawiają tezę, że zastosowanie standardu wymiany danych STEP-NC w przyszłości sprawi, iż maszyny technologiczne różnych producentów, będą bardziej „otwarte na siebie”.

O mechatronicznym charakterze prac badawczych nad zagadnieniami związanymi z systemami sterowania o otwartej architekturze świadczyć może praca [12], w której w bardzo informatyczny sposób omówiono najważniejsze zagadnienia związane z możliwościami rozbudowy jądra systemu operacyjnego sterownika CNC maszyny technologicznej. Prace [13-16] utwierdzają czytelnika w przekonaniu, iż współczesna mechatronika układów obrabiarkowych to głównie prace związane z nowymi rozwiązaniami w zakresie algorytmów sterowania układami napędowymi, diagnostyką procesów obróbkowych oraz implementacją opracowywanych funkcjonalności w szybkich układach programowalnych, np. FPGA.

Z kolei dzięki pracom, których wyniki zamieszczono w [17, 18], tworzone są kolejne funkcjonalności, bardzo istotne z punktu widzenia poprawy jakości obróbki skrawaniem. W pracach przeglądowych [19, 20] można znaleźć wiele informacji na temat trendów rozwojowych obrabiarek sterowanych numerycznie, jak również dowiedzieć się, nad jakimi problemami z obszaru obrabiarek wielofunkcyjnych pracują obecnie badacze z całego świata.

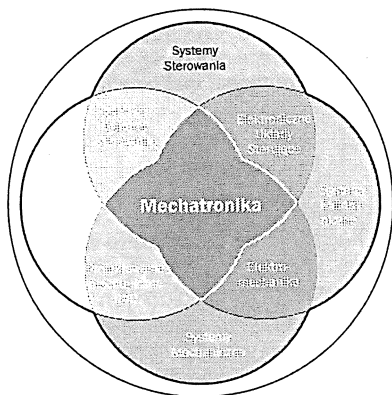
## Mechatronika

Od pewnego czasu w wielu publikacjach naukowych i naukowo-technicznych pojawia się sformułowanie „mechatroniczny”, „mechatronika”. Czym jest ta „nowa” dziedzina wiedzy, która z jednej strony tak bardzo przyciąga młodych ludzi, z drugiej zaś bardzo poważne i uznane na świecie ośrodki naukowo-badawcze określają dziedziny wiedzy, którymi się zajmują – mechatronicznymi.

Jedną z definicji mechatroniki znaleźć można w Internecie – to nauka interdyscyplinarna, łącząca badaczy z różnych dziedzin wiedzy. Najpopularniejszym współcześnie połączeniem jest współpraca specjalistów z obszaru szeroko rozumianej elektrotechniki, automatyki oraz mechaniki i budowy maszyn. Tak też rozumie mechatronikę większość inżynierów. Wielu z nich nie ma jednak pojęcia, że mechatronika – jako określenie – obchodzi właśnie czterdzieste urodziny – to tyle, ile już trwa historia sterowników programowalnych!

Zespół mechatroniczny (w rozumieniu grupy osób) zatem to zespół badaczy z obszarów: IT; systemów sterowania, systemów elektronicznych oraz systemów mechanicznych. Dzięki ich wspólnym staraniom w maszyny technologiczne można „tchnąć nowego ducha”, rozszerzyć ich funkcjonalność, czy zakres dotychczasowych zastosowań.

Zakresy wiedzy wszystkich badaczy z zespołów mechatronicznych, podczas prac nad projektami muszą się uzupełniać, wspierać. Aby praca nad projektami mechatronicznymi mogła być efektywna, inżynierowie powinni „mówić wspólnym językiem”, co należy rozumieć jako pracę z użyciem narzędzi programowych/sprzętowych zrozumiałych dla całego zespołu.



Rys.1. Koncepcja mechatroniki – interdyscyplinarny charakter prowadzonych projektów badawczych sprawia, że konieczna jest współpraca inżynierów z różnych dziedzin nauki  
Źródło: <http://www.wikipedia.org/pl>

Do takich narzędzi z całą pewnością zaliczyć można oprogramowanie Matlab/Simulink firmy The Mathworks. Do podstawowych zadań tego oprogramowania należy modelowanie układów dynamicznych z użyciem schematów blokowych – naturalnego dla każdego inżyniera sposobu opisu rzeczywistości – tak dla inżyniera elektrotechnika, automatyka jak i mechanika, czy konstruktora maszyn.

Od pewnego jednak czasu pośród narzędzi do prowadzenia symulacji komputerowych układów dynamicznych zauważalny jest trend wdrażania modelowania fizycznego, co jeszcze bardziej usprawnia pracę zespołów interdyscyplinarnych: w ramach jednego schematu blokowego można już symulować połączenie układów: elektrycznych, hydrau-

licznych, pneumatycznych, mechanicznych, tworzonego zgodnie z zasadami obowiązującymi dla danej dziedziny wiedzy, a nie jedynie z użyciem nieliniowych układów równań różniczkowych.

Współcześnie do najbardziej eksploatowanych zagadnień mechatroniki z całą pewnością zaliczyć należy powiązanie zagadnień mechaniki i elektroniki sterującej w ramach jednego urządzenia, które dzięki odpowiednio zaprojektowanym algorytmom sterowania realizuje funkcje, wymagające dotychczas złożonych układów wykonawczych mechanicznych.

W nierozdzielalnym związku z projektowaniem mechatronicznym układów pozostaje zagadnienie szybkiego prototypowania układów regulacji.

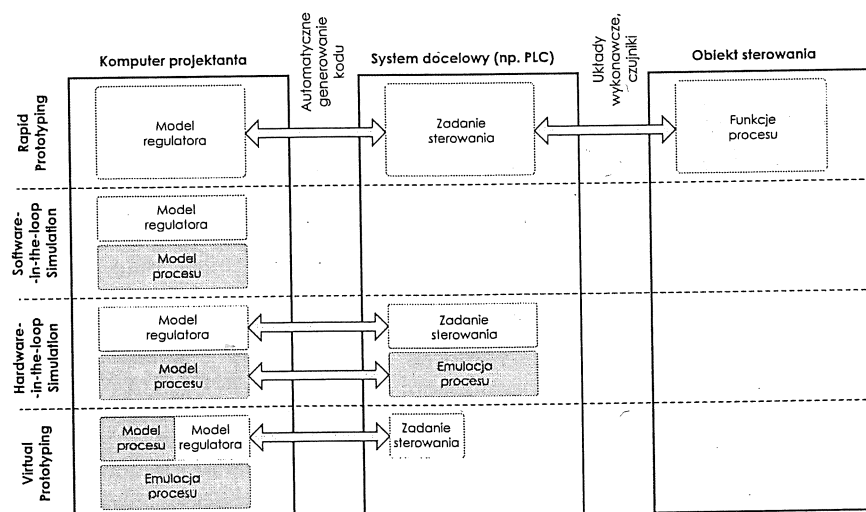
## Szybkie prototypowanie układów regulacji

Szybkie prototypowanie układów regulacji polega na automatycznym generowaniu kodu programu sterowania do wybranej platformy docelowej z poziomu narzędzi programowych, służących w pierwszym etapie rozwoju algorytmu do prowadzenia badań symulacyjnych. Nawet bardzo złożone struktury regulatorów można w ten sposób implementować w ramach funkcji sterujących w urządzeniach czasu rzeczywistego. Wiele potencjalnie dobrych koncepcji nie jest wprowadzanych w życie z uwagi na długi czas (i niebezpieczeństwo niepowodzenia) implementacji w urządzeniu docelowym, prowadzonych z użyciem języków tekstowych wysokiego poziomu. Dzięki szybkiemu prototypowaniu wszystkie koncepcje można efektywnie i szybko przetestować w warunkach rzeczywistych, zabezpieczając się jednocześnie przed błędami, jakie mogą wynikać podczas uruchamiania kodów opracowanych w językach tekstowych.

Projektowanie mechatroniczne to jednak nie tylko szybkie prototypowanie (które jako takie stanowi zwykle ostateczny punkt prowadzenia projektu wraz z funkcją automatycznego generowania kodu), ale obejmuje również:

- badania symulacyjne – zwykle pierwszy etap projektu;
- badania typu Hardware-in-the-loop Simulation – testowanie aplikacji w systemie docelowym, bez wykorzystania układów wejść/wyjść;
- badania typu Virtual Prototyping – algorytm regulacji realizowany przez urządzenie docelowe – symulacja komputerowa modelu obiektu.

Schematy postępowania w przypadku każdego z wyżej wymienionych podejść do badania opracowywanych regulacji przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. „Wspólny język” mechatroniki – procedury szybkiego prototypowania algorytmów sterowania i diagnostyki układów

W przypadku przemysłowych układów sterowania (sterowników programowalnych, komputerów przemysłowych) istotnymi podejściami są: badania symulacyjne Hardware-in-the-loop oraz funkcja szybkiego prototypowania, jaką jest automatyczne generowanie kodu programu na podstawie schematu blokowego, opracowanego np. w oprogramowaniu Matlab/Simulink firmy The MathWorks.

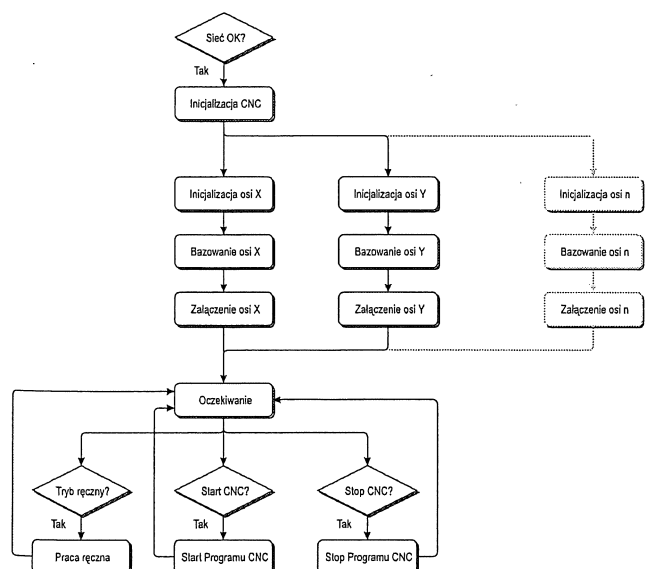
Każda modyfikacja regulatora (parametrów, struktury) niesie ze sobą niebezpieczeństwo uszkodzenia urządzenia sterowanego podczas prac uruchomieniowych. Zagadnienie badań symulacyjnych HIL polega na przesłaniu do docelowego systemu sterowania zarówno regulatora jak i modelu sterowanego procesu (opracowanych w Matlab/Simulink). Odpowiednio przygotowana aplikacja PLC pełni rolę systemu obliczeniowego symulowanego modelu sterowanego procesu. Dzięki temu możliwe jest (bez niebezpieczeństwa uszkodzenia elementów rzeczywistego procesu) przetestowanie rozmaitych koncepcji systemów sterowania (regulatorów).

Szybkie prototypowanie oferuje wiele możliwości w zakresie prostej i elastycznej implementacji najbardziej nawet wyszukanych struktur układów regulacji w systemach sterowania. Innowacyjne rozwiązania układów regulacji, które w przeszłości byłyby pewnie zarzucone z powodu nakładu pracy, jaki trzeba byłoby ponieść na ich przetestowanie w warunkach eksperymentu praktycznego, mogą być współcześnie badane i rozwijane z użyciem Matlab i Simulinka, a następnie wgrywane do systemów docelowych.

### Mechatroniczny charakter obrabiarek CNC

O mechatronicznym charakterze współczesnych maszyn technologicznych, a w szczególności obrabiarek wielofunkcyjnych świadczy sposób ich budowy, tak od strony sprzętowej jak i programowej.

Obrabiarka CNC z jednej strony łączy wszystkie aspekty automatyzacji procesów przemysłowych (komunikacja w sieci urządzeń cyfrowych, sterowanie cyfrowe, sterowanie ruchem z użyciem serwonapędów, wizualizację sterowanego procesu), z drugiej zaś parametry obróbki skrawaniem (w przypadku frezowania metali jest to dokładność na poziomie pojedynczych mikrometrów) sprawiają, iż zagadnienie poprawy jakości sterowania w tego typu układach stanowi bardzo atrakcyjny temat i nie lada wyzwanie.



Rys.3. Podstawowa funkcjonalność systemu sterowania obrabiarką CNC

Realizacja podstawowych funkcji systemu sterowania CNC sprowadza się do kilku czynności:

- włączenie zasilania,
- sprawdzenie komunikacji,

- inicjalizacja systemu CNC,
- inicjalizacja poszczególnych osi ruchu,
- zasilenie regulatorów w osiach,
- oczekiwanie na ruch/rozpoczęcie wykonywania programu obróbki,
- rozpoczęcie realizacji funkcji zawartych w programie,
- zakończenie wykonywania programu obróbki,
- obsługa maszyny w trybie pracy ręcznej,
- wizualizacja procesu obróbki,
- wymiana informacji z otoczeniem produkcyjnym,
- obsługa innych interfejsów komunikacyjnych poza tym, z użyciem którego komunikują się urządzenia w ramach samej maszyny.

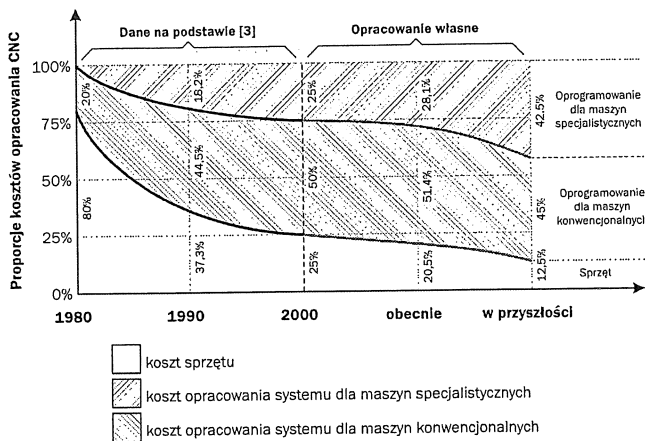
To, co można zrobić w otwartym systemie sterowania dodatkowo (w porównaniu do dostępnych na rynku systemów CNC), poza realizacją funkcji zawartych w programie obróbki, stanowi o indywidualnych cechach opracowanego systemu.

### Otwartość systemów sterowania obrabiarek CNC

W pracy [3] zamieszczono interesujące dane na temat trendów w rozwoju sprzętu i oprogramowania obrabiarek sterowanych numerycznie na przestrzeni lat 1980-2000. Analiza tych danych pozwala stwierdzić, iż w początkach historii sterowania numerycznego w maszynach technologicznych nie tworzono systemów dla maszyn specjalistycznych – zdobywano wiedzę na temat sterowań numerycznych maszyn, uzupełniając funkcjonalność maszyn konwencjonalnych. Koszt sprzętu pierwszych sterowań numerycznych sięgał 80% (!!!) całego systemu. Wiele rozwiązań było błędnych, nie spełniając założonych wymagań. W okolicy roku 1990 doświadczenia producentów systemów CNC było już na tyle duże (przy spadających skutkach rozwoju techniki mikroprocesorowej cenach sprzętu sterującego), że zaczęto stosować sterowania numeryczne dla obrabiarek specjalistycznych, zaś koszt sprzętu dla CNC stał się relatywnie znacznie niższy w stosunku do wersji systemów CNC o standardowej funkcjonalności. W pracy [3] zawarto dane obrazujące aktualny stan wiedzy w zakresie trendów rozwojowych (rok 2000) zwracając uwagę na dalsze obniżanie kosztów sprzętu i rozwój funkcjonalności CNC dla maszyn specjalnych. Aktualnie tendencja z roku 2000 się utrzymuje – sprzęt tanieje, staje się coraz bardziej zaawansowany technologicznie (większe moce procesorów, szybsze protokoły komunikacyjne czasu rzeczywistego, znacznie lepsze narzędzia do tworzenia interfejsów operatora, w tym matryce dotykowe, kolorowe); ponieważ wiele rozwiązań sprzętowych stanowi rozwiązania bardzo innowacyjne, zatem konieczne jest zdobycie doświadczenia w zakresie zastosowania ich do budowy konwencjonalnych obrabiarek wielofunkcyjnych (stąd wzrost w tym zakresie) a następnie wykorzystanie tych doświadczeń we wszelkiego rodzaju maszynach specjalistycznych. W przyszłości nie należy spodziewać się znaczącego wzrostu cen sprzętu, wykorzystywanego do budowy systemów sterowania obrabiarek, natomiast z całą pewnością (i można taki wniosek wyciągnąć na podstawie prowadzonych przez firmy – producentów obrabiarek – działań rozwojowych) wzrośnie znaczenie specjalistycznych funkcjonalności systemów sterowania CNC.

W pracy [3] zwrócono uwagę na fakt, iż to właśnie otwartość systemów sterowania obrabiarek CNC jest najistotniejszym z punktu widzenia rozwoju czynnikiem. Co rozumiemy pod pojęciem otwartości systemu sterowania maszyny technologicznej? Poniżej przedstawiono wybrane definicje, których szerszy opis znaleźć można w [3, 6]. Dzięki nim pojęcie otwartości staje się dość oczywiste.

W pracach [3-6] omówiono założenia najbardziej rozpo-



Rys.4. Trend rozwojowy sprzętu i oprogramowania dla CNC  
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie [3]

Cytując definicję, przedstawioną przez Komitet Techniczny ds. Systemów Otwartych organizacji IEEE „system otwarty zapewnia możliwość uruchamiania odpowiednio przygotowanych aplikacji na rozmaitych platformach sprzętowych różnych producentów, umożliwiając jednocześnie wymianę informacji z istniejącymi w tych systemach aplikacjami, przy założeniu jednolitego sposobu komunikacji z użytkownikiem”. Celem wyznaczenia otwartości systemu sterowania wprowadza się następujące kryteria oceny:

- przenośność – moduły aplikacji mogą być wykorzystywane na różnych platformach (przenoszone między nimi);
- rozszerzalność – w zależności od potrzeb system może się składać ze zmiennej liczby modułów (analogicznie do budowy systemów operacyjnych sterowników PLC);
- współdziałanie – moduły aplikacji, poza tym, że wymieniają dane w standardowy sposób z otoczeniem, to komunikują się w identyczny sposób pomiędzy sobą;
- skalowalność – zależnie od wymogów sterowanego procesu możliwe jest dostosowanie systemu tak w warstwie programowej jak i sprzętowej (choćby pod kątem wydajności mocy obliczeniowej jednostki centralnej).

Z kolei w pracy [6] autor proponuje zestaw reguł i kryteriów dla celów ewaluacji systemów sterowania pod kątem otwartości. Dzięki tego typu opracowaniom możliwe jest określenie poziomu otwartości (uniwersalności) proponowanego przez siebie rozwiązania.

Prowadzone od lat prace nad opracowaniem otwartych systemów sterowania przynosiły różne rezultaty [3, 6].

Jako pierwszy, w Stanach Zjednoczonych opracowany został system Next Generation Controller NGC. W Europie organizacja OSACA (Open System Architecture for Control with Automation Systems) zaproponowała swoje oryginalne podejście do tematu otwartej architektury systemu sterowania. Wkrótce nadeszła odpowiedź z Japonii – organizacja OSEC (Open System Environment for Controller) opracowała interfejs aplikacji sterującej (Application Program Interface) – OSEC API. Konsorcjum firm Chrysler, Ford i General Motors powołało do życia organizację użytkowników układów sterowania OMAC (Open Modular Architecture Controls), która w niedługim czasie opracowała OMAC API dla otwartych systemów sterowania. W oparciu o prace OMAC nad swoim API organizacja NIST (National Institute of Standard and Technology) opracowała koncepcję otwartego sterownika maszyn – Enhanced Machine Controller (EMC). Chiński rząd również prowadził prace nad opracowaniem standardu otwartego systemu sterowania numerycznego. Dodatkowo, wiele uniwersytetów i politechnik, jak np. University of British Columbia, University of Michigan czy Shanghai Jiao Tong University, również zaproponowało swoje systemy sterowania o otwartej architekturze.

Otwartość systemu sterowania może zostać zdefiniowana na kilku rozmaitych poziomach, a kryterium oceny otwartości związane może być z:

- zakresem aplikacji, do jakich dany system może zostać zastosowany,
- poziomem otwartości i konfigurowalności jądra samego systemu,
- zakresem wykorzystania interfejsów komunikacyjnych, dostępnych na rynku.

Sama nazwa „systemu sterowania o otwartej architekturze” wskazuje na fakt, iż może on być zastosowany w wielu rodzajach aplikacji przemysłowych (jak np. obróbka maszynowa, robotyka, sterowanie procesami ciągłymi). Wskaźnik, jakim jest dziedzina zastosowań wskazuje, w ilu dziedzinach dany system sterowania o otwartej architekturze może mieć zastosowanie. Mówiąc wprost, im większa jest liczba dziedzin, do których dany system sterowania może być zastosowany, tym jest pod tym względem lepszy. Poziomy oraz miary wymagań co do ilości dziedzin zastosowań przedstawiono na rysunku 5.

Określenie otwartości systemu sterowania możliwe jest również dzięki analizie możliwości rekonfiguracji systemu i zakresu operacji dostosowawczych do specyficznych wymagań użytkownika.

Poziom	Opis	Ilość punktów
Specjalistyczne oprzyrządowanie	Specjalne oprzyrządowanie, jak np. dedykowany sterownik 3-osiowej maszyny frezarskiej	0
Wybrany typ oprzyrządowania	Wybrany typ urządzenia sterującego dla danej dziedziny, jak np. sterownik obrotowy maszyny w zastosowaniu do procesów obróbkowych	2
Kilka rodzajów oprzyrządowania	Kilka rodzajów urządzeń w danej dziedzinie, jak np. sterownik maszyny obrotowej oraz sterownik maszyny frezarskiej w zastosowaniu do procesów obróbkowych	3-5
Wybrana dziedzina zastosowań	Dziedzina, jak np. sterownik maszyny obróbkowej lub sterownik robota	6
Kilka różnych dziedzin	Kilka dziedzin zastosowań, jak np. sterowniki robotów i jednocześnie sterownik maszyny	7-9
Wszystkie możliwe dziedziny	Wszystkie dziedziny przemysłu wytwórczego	10

Rys.5. Wymogi co do otwartości systemów sterowania w zakresie aplikacji, do jakich są stosowane – dziedzina zastosowań

Poziomy	Opis	Ilość punktów
Zamknięty	Tradycyjna zamknięta architektura	0
Otwarty HMI	Użytkownicy mogą opracowywać własny interfejs człowiek-maszyna	2
Otwarta jest część jądra	Użytkownicy mogą zmieniać i konfigurować część jądra systemu	3-5
Otwarte jądro o określonej, niezmienną topologię	Użytkownicy mogą zmieniać bądź konfigurować całe jądro systemu – topologia jednak pozostaje bez zmian	6
Część topologii jądra może być zmieniana	Użytkownicy mogą zmieniać bądź konfigurować całe jądro systemu – topologia może ulec drobnym zmianom	7-9
Całkowicie otwarty	Całkowicie otwarty układ sterowania, którego topologia może ulegać zmianom zależnie od aplikacji	10

Rys.6. Wartości punktowe określające poziom otwartości danego systemu sterowania

Systemy zamknięte (patrz rysunek 6), dedykowane do pojedynczego procesu, nie mogą być zmieniane w żadnym aspekcie, ani warstwy sterowania, ani też wizualizacji. Przykładem mogą być tutaj dedykowane sterowniki mikroprocesorowe do prostych urządzeń technicznych.

Nieco wyższy poziom otwartości systemu oznacza, że możliwa jest tak zmiana istniejącego jak i opracowanie własnego interfejsu operatora, bez możliwości ingerencji w podstawową funkcjonalność systemu.

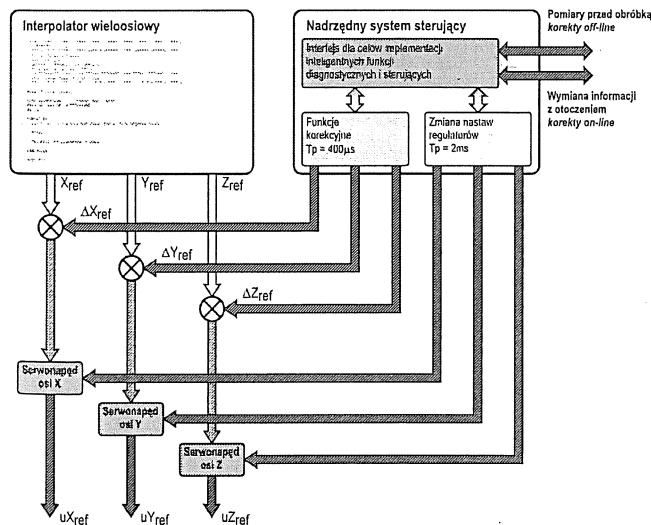
Jeżeli system umożliwia (tak jak ma to miejsce w systemach operacyjnych sterowników programowalnych) konfigurację funkcjonalności jądra systemu oraz komponowanie funkcjonalności systemu w zależności od potrzeb sterowanego procesu, wtedy (rysunek 6) system taki daje użytkownikom bardzo szerokie możliwości ustalania zakresu działań sterowanej maszyny.

Maksymalną liczbę punktów autor pracy [6] zarezerwował dla takich systemów, w których użytkownik może ingerować we wszystkie elementy systemu sterowania, ich funkcjonalność, interfejsy wymiany informacji, topologię zarówno w warstwie sprzętowej jak i programowej.

Z punktu widzenia projektowania złożonych specjalistycznych urządzeń system całkowicie otwarty jest najlepszy, pozwala bowiem z jednej strony na opracowanie podstawowej funkcjonalności dla dowolnej maszyny technologicznej, z drugiej zaś, co zostanie pokazane w kolejnej części niniejszego artykułu, na nieograniczone rozszerzanie już istniejącej funkcjonalności takiej maszyny – obrabiarki wielofunkcyjnej.

### Projekt O.C.E.A.N.

O.C.E.A.N. (Open modular Control system for linEAR motion drive) to system napędowy, możliwy do zastosowania zarówno w układach sterowania maszyn wykorzystujących synchroniczne silniki liniowe prądu zmiennego jak i silniki PMSM – obrotowe silniki bezszczotkowe synchroniczne z magnesami trwałymi prądu zmiennego) to wynik prac naukowo-badawczych interdyscyplinarnego Centrum Mechatroniki, skupiającego badaczy dwóch Wydziałów: Elektrycznego oraz Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki ZUT w Szczecinie.



Rys. 7. Architektura sprzętowo-programowa systemu O.C.E.A.N.

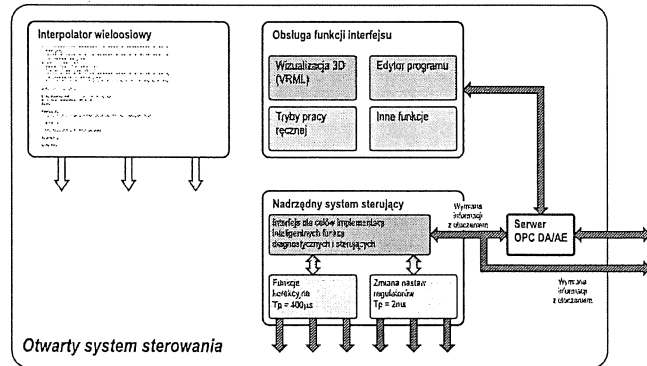
Jest to otwarty modułowy, w pełni rekonfigurowalny i modyfikowalny system sterowania układem napędowym obrabiarki CNC, pozwalający zarówno na sterowanie układem napędowym z zastosowaniem przekładni śrubowo-toczących jak i silników liniowych.

System O.C.E.A.N. pozwala, z użyciem dostępnych na rynku (w celu zapewnienia krótkich terminów dostaw w przypadku napraw i typowości komponentów sprzętowych)

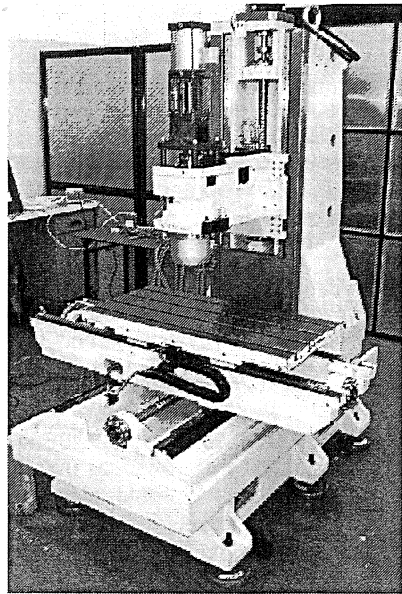
rozwiązań sprzętowych, na realizację otwartego interfejsu programowania i sterowania obrabiarką CNC.

System O.C.E.A.N. w aktualnej wersji umożliwia, podczas wykonywania procesu obróbki, wprowadzanie i przetwarzanie sygnałów pomiarowych, co 400 mikrosekund, pozwalając tym samym na realizację rozmaitych funkcji korekcyjnych. Alternatywnie, możliwe jest (co 2 milisekundy) dokonywanie zmian wartości parametrów regulatorów serwonapędów w poszczególnych osiach ruchu. Schemat funkcjonalny systemu przedstawiono na rysunku 7.

Na rysunku 8 przedstawiono koncepcję funkcjonalności interfejsu operatora, dzięki której możliwa jest dowolna rozbudowa i rekonfiguracja, mająca np. na celu dostosowanie nowo tworzonych interfejsów do specyficznych przyzwyczajeń czy wymagań operatorów maszyn technologicznych, jak również zapewnienia „przezroczystości” systemu dla systemów informatycznych warstwy zarządzania produkcją w ramach istniejącego parku maszyn.



Rys. 8. Schemat funkcjonalny interfejsu HMI systemu O.C.E.A.N.



Rys. 9. Obiekt sterowania – frezarka 3-osiowa

Na rysunku 9 przedstawiono jeden z dwóch obiektów badań, na których testowane są poszczególne funkcjonalności opracowywanego systemu – frezarka 3-osiowa z układem napędowym zrealizowanym z użyciem mechanizmu kulowo-toczącego. Aktualnie prowadzone są prace nad dostosowaniem identycznej konstrukcji korpusu do pracy z użyciem silników liniowych.

Porównując system O.C.E.A.N. z innymi obecnie dostępnymi na rynku systemami napędowymi układów sterowania obrabiarek CNC stwierdzono, że z punktu widzenia użytkownika oraz firm inżynierskich należy je uznać za zamknięte. Użytkownicy mogą bowiem jedynie dokony-



wać zmian konfiguracyjnych wybranych parametrów systemu, zwykle nie mając do nich dostępu podczas realizacji procesu obróbki. W prezentowanym systemie mogą zrobić znacznie więcej.

Poniżej przedstawiono szczegółowo funkcje dostępne w nowych systemach sterowania CNC znanych producentów oraz omówiono, jak podobne funkcjonalności realizowane są w ramach systemu O.C.E.A.N.:

- możliwość modyfikacji/konfiguracji interfejsu operatora z użyciem dedykowanej aplikacji wizualizacyjnej – w przypadku systemu O.C.E.A.N. możliwe jest utworzenie interfejsu operatora z użyciem dowolnego dostępnego na rynku oprogramowania HMI/SCADA – InTouch, iFix, WinCC, i innych,
- możliwość zaprojektowania własnego interfejsu operatora z użyciem dostarczonych przez producenta bibliotek dla oprogramowania Visual Studio (dedykowanych dla konkretnych systemów sterowania) – w prezentowanym systemie zastosowanie technologii OPC (OLE for Process Control) poza możliwością wykorzystania dowolnego oprogramowania HMI/SCADA daje jeszcze możliwość tworzenia w dowolnym narzędziu programistycznym wizualizacji w formie aplikacji klienckiej OPC DA/AE (OPC Data Access/Alarms&Events), jak również opracowanie dedykowanej wizualizacji w formie stron internetowych WWW w formatach HTML oraz ASP,

- rozbudowa jądra systemu w zakresie sterowania układem napędowym – w opisywanym systemie, w porównaniu do rozwiązań innych producentów możliwa jest dowolna konfiguracja elementów składowych systemu: bibliotek, zadań sterowania, wizualizacji, wymiany danych z otoczeniem przemysłowym – jądro systemu, choć nie może zostać zmienione, to jego funkcjonalność może zostać dowolnie rozszerzona poprzez opracowanie własnych zadań, realizowanych przez procesor sterownika (możliwe jest przypisywanie zadań sterowania i przetwarzania sygnałów pomiarowych z różnymi czasami próbkowania, co pozwala na dowolną konfigurację obliczeń podczas realizacji implementowanych funkcji diagnostycznych).

Bardzo ważne z punktu widzenia użytkownika jest, iż cały system O.C.E.A.N. opracowany jest zgodnie z obowiązującymi w rozwiązaniach przemysłowych układów sterowania normami: IEC 61131-3 oraz PLCopen Motion Control, czy w przyszłości również IEC 61508, poprzez uzupełnienie systemu odpowiednimi podsystemami bezpieczeństwa i zabezpieczeń.

### Bloki diagnostyczne, możliwości rozbudowy

Architektura sprzętowo-programowa systemu O.C.E.A.N. pozwala na liczne modyfikacje implementowanych algorytmów diagnostyki i sterowania, uwzględniające zjawiska występujące podczas obróbki skrawaniem, poprzez dołączanie kolejnych modułów programowych do bazowej wersji systemu. Dzięki temu możliwe staje się poznanie wpływu i opracowanie strategii reagowania na te zjawiska.

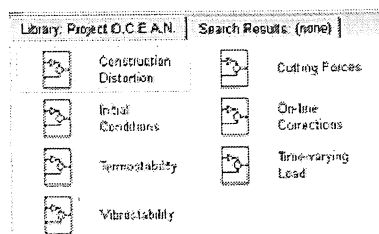
Do bloków korekt możliwych do implementacji w opracowanym systemie O.C.E.A.N. zaliczyć można:

- bloki korekcyjne uwzględniające zagadnienia termiczne podczas obróbki (zagadnienie termostabilności – *Thermostability*),
- bloki korekt uwzględniających drgania układu (zagadnienie wibrostanilności – *Vibrostanility*),
- bloki korekt z uwagi na siłę skrawania (uwzględnienie siły skrawania np. w algorytmie sterowania serwonapędem – *Cutting Forces*),
- bloki korekt z uwagi na odkształcenia/niedokładności konstrukcji obrabiarki (*Construction Distortion*),
- bloki korekt z uwagi na zmienne w czasie obciążenie

układu napędowego wskutek ubytkowego charakteru obróbki (zagadnienie zmian obciążenia, również podczas realizacji ruchu w pionie, szczególnie istotne w przypadku silników liniowych – *Time-varying Load*),

- bloki korekt z uwagi na początkowe położenie obrabiarki względem przedmiotu obrabianego (możliwość dowolnego ustalania układów współrzędnych – *Initial Conditions*),
- bloki korekt on-line, uwzględniających opracowany w ramach projektu model układu i jego zmienność (*Model-based Corrections*).

Podczas realizacji zadań związanych z projektem powstała biblioteka Matlab/Simulink, na którą składają się bloki funkcyjne, których pakiet może zostać dołączony do właściwego systemu sterowania z użyciem narzędzi szybkiego prototypowania.



Rys.10. Biblioteka funkcji diagnostycznych/ sterujących/ korekcyjnych opracowana na potrzeby projektu O.C.E.A.N.

W opisywanym systemie dla celów testowania i implementacji opracowywanych teraz i w przyszłości bloków korekcyjnych/diagnostycznych wykorzystano narzędzie Automation Studio Target for Simulink, dzięki któremu możliwe jest szybkie prototypowanie układów regulacji – od prowadzenia badań *Software-in-the-loop*, poprzez zagadnienie *Virtual Prototyping* (w myśl którego regulator, umieszczony pośród zadań realizowanych przez procesor sterownika, steruje wirtualnym modelem rzeczywistego procesu), a następnie badania symulacyjne *Hardware-in-the-loop* (regulator i model procesu obliczane przez jedną i tą samą jednostkę centralną), skończywszy na *Rapid Prototyping* poprzez automatyczne generowanie kodu dla systemu docelowego – w tym przypadku zadania sterowania dla deterministycznego wielozadaniowego systemu operacyjnego czasu rzeczywistego.

Opracowane biblioteki oprogramowania Matlab/Simulink pozwolą bardzo szybko, od koncepcji algorytmu wykorzystania danego bloku korekcyjnego w ramach platformy sterującej obrabiarką, przejść do uruchomienia jego rzeczywistej funkcjonalności w systemie docelowym.

### Podsumowanie

Mechatronika jest współcześnie jedną z najprężniej rozwijających się dziedzin wiedzy technicznej. To dzięki elektronice sterującej, układom automatyki, rezultatom licznych prac z obszaru szeroko rozumianej elektrotechniki w urządzeniach mechanicznych, takich jak opisywana w niniejszym artykule obrabiarka wielofunkcyjna (frezarka) możliwe jest osiągnięcie zupełnie nowej jakości i funkcjonalności i tak już bardzo skomplikowanego urządzenia. Dzięki temu w mechatroniczny sposób urządzenie konwencjonalne zyskuje nowe oblicze.

Prezentowany otwarty system sterowania maszynami technologicznymi pozwala opracować liczne dodatkowe funkcjonalności, z których czerpać będą mogli użytkownicy, dla których niektóre z opracowanych już mechanizmów oznaczają znaczne usprawnienie wykorzystania obrabiarki w linii produkcyjnej.

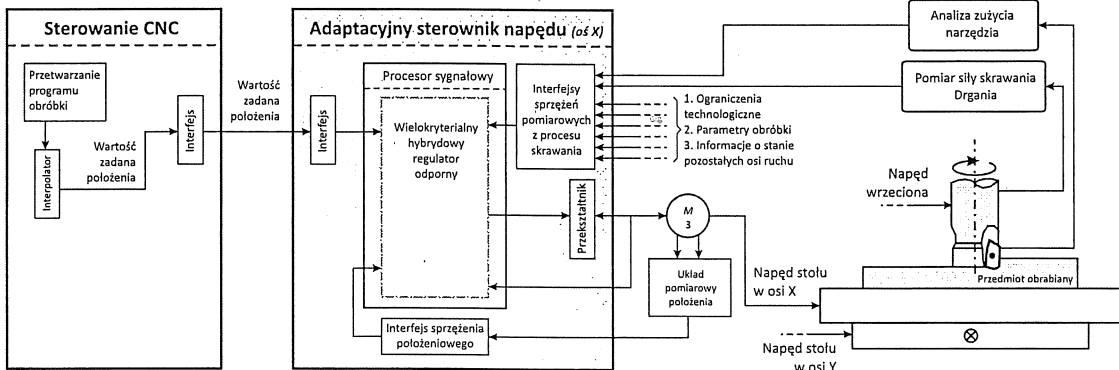
Istotą systemu O.C.E.A.N. tkwi w jego elastyczności i możliwościach dowolnej rozbudowy, prowadzącej w rezultacie do poprawy jakości obróbki skrawaniem.

Mimo, że system O.C.E.A.N. jest adresowany głównie do obrabiarek sterowanych numerycznie (tokarek, frezarek wieloosiowych), może być również wykorzystywany do sterowania układami robotycznymi o dowolnej konfiguracji, a także innymi maszynami technologicznymi.

Dzięki opracowanym aktualnie i w przyszłości algorytmom poprawy jakości obróbki możliwe będzie osiągnięcie stanu, w którym zarówno niedokładności wynikające z wad

konstrukcyjnych obrabiarki jak i zmieniające się podczas obróbki wartości sygnałów, będą mogły zostać uwzględnione w algorytmach sterowania ruchem poszczególnych osi podczas obróbki.

Aktualnie prowadzone są prace nad budową otwartego interfejsu cyfrowego serwonapędu, umożliwiającego uwzględnienie w jego pracy większej liczby sygnałów aniżeli tylko tego, pochodzącego z enkodera (rysunek 11).



Rys.11. Koncepcja adaptacyjnego serwonapędu, uwzględniającego poza sygnałem z enkodera również inne sygnały z obróbki skrawaniem dla celów wypracowania prawa sterowania silnikami napędów w poszczególnych osiach

W podsumowaniu należy jednoznacznie podkreślić, że współcześnie rozwój technologiczny otwiera przed inżynierami olbrzymie możliwości. Wykorzystując je w odpowiedni sposób, możliwe staje się opracowanie innowacyjnych koncepcji, pośród których mechatroniczne doskonalenie urządzeń technicznych zajmuje jedno z najważniejszych miejsc.

Pojęcie mechatronicznego podejścia do realizacji projektów badawczych z pewnością na stałe wejdzie do słownika, zaś sama mechatronika nie powinna być postrzegana jako narzędzie marketingowego pozyskiwania słuchaczy-klientów, a jako ważna z punktu widzenia rozwoju techniki dziedzina wiedzy.

## Referencje

*Niniejszy artykuł powstał w ramach prac nad projektem rozwojowym MNIŚW R03 042 02 „Opracowanie i badania prototypu obrabiarkowego zespołu posuwowego z napędami liniowymi sterowanego w dwóch osiach z układu CNC o otwartej architekturze”*

System O.C.E.A.N. został wyróżniony Złotym Medalem Międzynarodowych Targów Poznańskich podczas imprezy targowej Innowacje-Technologie-Maszyny 2009.

## LITERATURA

- [1] Ramirez-Serrano A., Zhu S.C., Chan S.K.H., Chan S.S.W., Ficocelli M., Benhabib B., A hybrid PC/PLC architecture for manufacturing-system control – theory and implementation, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13 (2002), 261-281
- [2] Neugebauer R., Denkena B., Wegener K., Mechatronic systems for machine tools, *Annals of the CIRP*, 56 (2007), n.2, 657-686
- [3] Pritschow G., Altintas Y., Jovane F., Koren Y., Mitsuishi M., Takata S., van Brussel H., Weck M., Yamazaki K., Open Controller Architecture – Past, Present and Future, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 50 (2001), n.2, 463-470
- [4] Asato O.L., Kato E.R.R., Inamasu R.Y., Porto A.J.V., Analysis of open CNC architecture for machine tools, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 13 (2002), 261-281
- [5] Asato O.L., Kato E.R.R., Inamasu R.Y., Porto A.J.V., Analysis of open CNC architecture for machine tools, *Proc. of COBEM'99*, 13 (2002), 208-212
- [6] Yonglin C., An evaluation space for open architecture controllers, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26 (2005), 351-358
- [7] Ocoś K.E., Porzycki J., Habrat W., Zahuta P., Zastosowanie układów CNC o strukturze otwartej do sterowania szlifierek, *Mechanik*, 5-6 (2006), 367-376

- [8] Mehrabi M.G., Ulsoy A.G., Koren Y., Heytler P., Trends and perspectives in flexible and reconfigurable manufacturing systems, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13 (2002), 135-146
- [9] Tseng P.C., Chou A., The intelligent on-line monitoring of end milling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42 (2002), 89-97
- [10] Fortin E., Chatelain J.-F., Rivest L., An innovative software architecture to improve information flow from CAM to CNC, *Computers and Industrial Engineering*, 46 (2004), 655-667
- [11] Xu X.W., Newman S.T., Making CNC machine tools more open, interoperable and intelligent – a review of the technologies, *Computers in Industry*, 57 (2006), 141-152
- [12] Park S., Kim S.-H., Cho H., Kernel software for efficiently building, re-configuring, and distributing an open CNC controller, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27 (2006), 788-796
- [13] Ramesh R., Mannan M.A., Poo A.N., Tracking and contour error control in CNC servo systems, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45 (2005), 301-326
- [14] Kuo C.-F.J., Hsu C.-H., Precise speed control of a permanent magnet synchronous motor, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28 (2006), 942-949
- [15] Kuo C.-F.J., Hsu C.-H. Tsai C.-C., Control of a permanent magnet synchronous motor with a fuzzy sliding-mode controller, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32 (2007), 757-763
- [16] Lin-Shi X., Morel F., Llor A.M., Allard B., Retif J.-M., Implementation of hybrid control for motor drives, *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, 54 (2007), n.4, 1946-1952
- [17] Broel-Plater B., Domek S., Parus A., Permanent Magnet Chatter Absorber with Fuzzy Logic Control, *Solid State Phenomena*, 147-149 (2009), 179-184
- [18] Dworak P., Pietrusewicz K., A Fuzzy-Logic Based Tuning for a Velocity Controller of the DC Servo Drive, *Solid State Phenomena*, 147-149 (2009), 290-295
- [19] Oczoś K.E., Obrabiarki skrawające – stan obecny na tle prognozy rozwoju. Część 1, 2, *Mechanik*, 12 (2005), 973-983; *Mechanik*, 1 (2006), 28-35
- [20] Oczoś K.E., Kierunki zwiększania produktywności procesów skrawania, *Mechanik*, 5-6 (2007), 325-348

**Autorzy:** dr hab. inż. Stefan Domek, prof. ZUT, dr inż. Krzysztof Pietrusewicz, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Automatyki Przemysłowej, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, E-mail: Stefan.Domek@zut.edu.pl; Krzysztof.Pietrusewicz@zut.edu.pl