



# UTRZYMANIE RUCHU

1/2016



- marka handlowa skupiająca ponad 300 firm i jednostek biznesowych,
  - zatrudniająca ponad 28 000 specjalistów, inżynierów i techników,
  - dostarczająca usługi techniczne dla przemysłu
- W Polsce reprezentowana przez Cegelec sp. z o.o.



DODATEK SPECJALNY

**Automatyka  
przemysłowa**



Cegelec, spółka będąca częścią międzynarodowej grupy VINCI ENERGIES, w ramach której ponad 9000 pracowników świadczy usługi utrzymania ruchu w 20 krajach świata.

[www.cegelec.pl](http://www.cegelec.pl)

ZATRUDNIAMY OKOŁO 100 OSÓB, KTÓRE DOSTARCZAJĄ USŁUGI  
DLA PONAD 120 KLIENTÓW W POLSCE I ZA GRANICĄ.

**Przekładnie  
zębate**

## Rynek

- 5 Aktualności

## Mechanika

- 8 Przekładnie zębate  
– podział, wytwarzanie,  
zastosowanie  
dr inż. Ryszard Kuryjański

## Bezpieczeństwo

- 16 Bezpieczny dostęp  
do stref pracy maszyny  
Włodzimierz Łabanowski

## Napędy

- 21 Napędy przekształtnikowe.  
Którą ofertę wybrać?  
Marek Trajdos
- 26 Przegląd uszkodzeń uzwojeń  
statorów silników elektrycznych.  
Przyczyny, skutki, symptomy,  
zapobieganie  
dr inż. Mariusz Hetmańczyk

## Hydraulika i pneumatyka

- 28 Automatykacja sprężarkowni  
i obszaru poboru  
sprężonego powietrza  
Wojciech Halkiewicz

## Energetyka

- 30 Energia dla polskiej gospodarki.  
Teraźniejszość i przyszłość  
– nowe technologie i rozwiązania  
Grażyna Kurowska

## Diagnostyka

- 33 Diagnostyka  
w układach automatyki  
dr hab. inż. Marek Fidali

## Zarządzanie

- 38 Automatykacja w Polsce  
na tle światowych osiągnięć  
mgr inż. Agnieszka Hyla,  
mgr inż. Grzegorz Czeakała

- 40 Zespół, załoga, team  
– jak zarządzać ludźmi?  
Menadżerowie radzą menadżerom  
Izabella Kiriczok

## Dodatek specjalny: Automatyka

- 42 Czujniki przemysłowe XXI wieku.  
Kierunki rozwoju  
a oczekiwania klientów  
dr inż. Piotr Michalski
- 45 Industry 4.0 w praktyce, czyli  
o tym, jak zoptymalizowano  
proces produkcji komputerów  
przemysłowych w fabryce  
systemów automatyzacji\*
- 48 Fabryka przyszłości.  
Jak wygląda zakład produkcyjny  
XXI wieku?  
dr inż. Adrian Kampa
- 52 Napędy i silniki DC  
– czy ich stosowanie wciąż  
ma sens w epoce napędów AC?\*
- 54 Identyfikacja źródeł dźwięku  
i drgań\*
- 56 Deska rozdzielcza  
rozmawia z robotem.  
Przemysłowy Internet Rzeczy  
Grażyna Kurowska
- 61 Wzrasta rola współpracujących  
robotów przemysłowych\*  
Daniel Niepsuj
- 64 Rittal TS 8 – 10 milionów  
wyprodukowanych egzemplarzy.  
Najpopularniejszy system  
szaf sterowniczych\*
- 66 Enkodery przemysłowe.  
Szczególny rodzaj przetworników  
Hipolit Chrzanowski
- 69 Scentralizowana  
czy zdecentralizowana  
technika napędowa?\*
- Mariusz Snowacki
- 72 Znaczniki RFID z dużą pamięcią  
dr inż. Bartłomiej Gładysz



fot. Thinkstock

dr. hab. inż. Marek Fidali

Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska

# Diagnostyka w układach automatyki

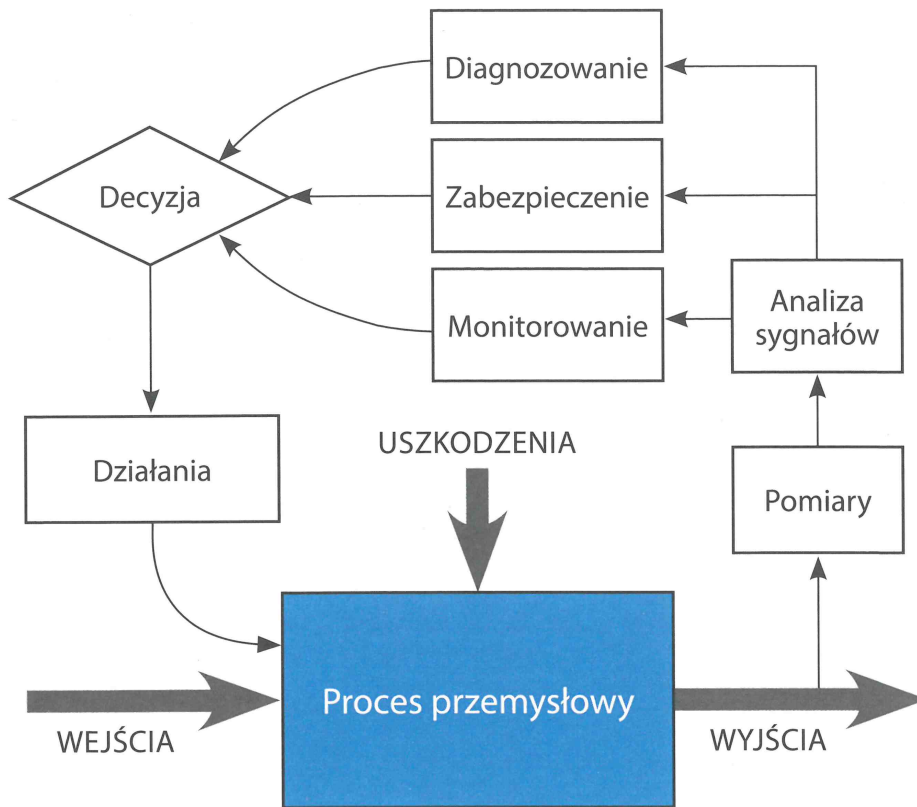
Współczesne układy automatyki mają złożoną strukturę ze względu na udział w realizacji również złożonych procesów przemysłowych. Zapewnienie bezawaryjnego działania tego typu układów wiąże się z koniecznością stosowania odpowiednich systemów monitorowania, nadzoru i diagnostyki procesów przemysłowych.

**P**raktycznie we wszystkich dziedzinach przemysłu w procesie produkcyjnym stosowane są mniej lub bardziej zaawansowane systemy automatyki i sterowania. Pomimo dużej niezawodności komponentów układów automatyki i sterowania zdarzają się ich uszkodzenia, co często powoduje zakłócenia lub przestoje w procesie produkcji. Współczesne systemy sterowania i kontroli procesów produkcyjnych obejmują całą gamę urządzeń, począwszy od programowalnych sterowników i kontrolerów, poprzez urządzenia wykonawcze

i pomiarowe oraz elementy infrastruktury informatycznej, włączając w to sieci przemysłowe.

Cała infrastruktura układów automatyki i sterowania zwykle jest zintegrowana i podlega kontroli i nadzorowi z poziomu nadrzędnych systemów takich jak SCADA (ang. *Supervisory Control And Data Acquisition*) lub DCS (ang. *Distributed Control System*). Systemy te są na tyle uniwersalne, że pozwalają na monitorowanie i zabezpieczanie procesu produkcyjnego, generując alarmy lub wyłączając układy realizujące proces w celu zapobieżenia po-

wstania strat produkcyjnych. Nadzór nad ww. procesami może przebiegać w sposób automatyczny lub manualny. Zaletą tego typu systemów niewątpliwie jest to, że użytkownik ma błyskawiczny dostęp do informacji o awarii, co pozwala na jej szybkie usunięcie, minimalizując tym samym straty produkcyjne. Z drugiej strony – za pewną wadę należy uznać sam fakt, że systemy nie zawsze pozwalają na zapobieżenie przestojom. Wada ta wynika często z braku procedur diagnostycznych pozwalających na wykrycie uszkodzenia na wczesnym etapie, a następnie jego śle- ▶



Rys. 1. Schemat możliwych sposobów zapobiegania groźnym awariom procesów przemysłowych

**W**spółczesne układy automatyki mają złożoną strukturę ze względu na udział w realizacji również złożonych procesów przemysłowych. Zapewnienie bezawaryjnego działania tego typu układów wiąże się z koniecznością stosowania odpowiednich systemów monitorowania, nadzoru i diagnostyki procesów przemysłowych

► dzenie i informowanie o przewidywanym horyzoncie bezpiecznej pracy instalacji przemysłowej.

### Monitorowanie, nadzór i zabezpieczenie procesów przemysłowych

W trakcie realizacji procesu przemysłowego do użytkowników w czasie rzeczywistym dociera bardzo wiele sygnałów niosących informację o stanie technicznym wszystkich elementów instalacji przemysłowej, w tym elementów układów automatyki, a także stanie procesu przemysłowego. Dzięki stosowaniu rozmaitych systemów informatycznych (DCS, SCADA) wiele z sygnałów jest mierzonych, przetwarzanych i zbieranych, co pozwala

na monitorowanie stanu procesu przemysłowego i układów procesowych. Dzięki monitorowaniu zmiennych procesowych możliwe jest nadzorowanie i zabezpieczanie procesu polegające na zapobieganiu skutkom występowania uszkodzeń i niedopuszczaniu do ich występowania poprzez likwidację potencjalnie niebezpiecznych przebiegów procesu.

Monitorowanie, nadzorowanie i zabezpieczanie (rys. 1) z reguły bazują na sygnałach alarmowych generowanych przez różne komponenty układów automatyki, co w przypadku rozbudowanych instalacji przemysłowych może generować opóźnienia w reakcji służb utrzymania ruchu na zaistniały problem i przekładać się na awarie, przestoje, a w konsekwen-

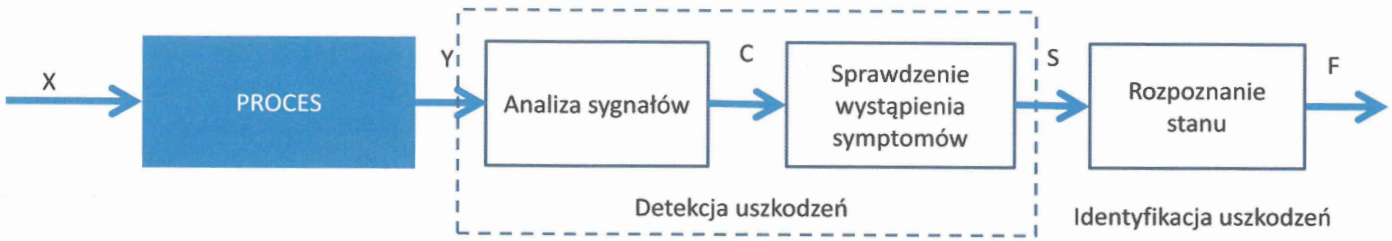
cji – powstanie dużych strat finansowych. Niedostatecznie szybka reakcja na wystąpienie uszkodzenia lub jej brak mogą być efektem przeciążenia informacyjnego wynikającego z występowania dużej liczby alarmów sygnalizowanych w krótkim przedziale czasu, występowania efektu maskowania symptomów uszkodzeń przez układy regulacji, powstawania opóźnień w układach sterowania, braku mechanizmów wnioskowania o potencjalnym zagrożeniu na podstawie wczesnych symptomów potencjalnego uszkodzenia, braku doświadczenia i dostatecznej wiedzy wśród personelu odpowiedzialnego za prawidłowe funkcjonowanie procesu i całej infrastruktury przemysłowej, a także innych przyczyn.

Jednym ze sposobów zapobiegania awariom procesów przemysłowych jest wprowadzenie bardziej zaawansowanych procedur diagnostycznych, które, w odróżnieniu od monitorowania, nadzoru i zabezpieczania, pozwalają na wczesne wykrywanie i dokładne rozpoznawanie (rozróżnianie) symptomów potencjalnych uszkodzeń, zanim dojdzie do zatrzymania procesu.

### Diagnozowanie procesów przemysłowych

Diagnostykę układów automatyki można realizować poprzez obserwację sygnałów procesowych pochodzących z rozmaitych czujników umieszczonych w komponentach instalacji przemysłowej oraz w samych elementach układów automatyki i sterowania. Większość komponentów układów sterowania, takich jak: sterowniki programowalne, serwonapędy, regulatory, stacje procesowe, układy komunikacyjne itp., ma wbudowane procedury autodiagnostyczne, które, sprzęgnięte z informacjami pozyskiwanymi ze zmiennych procesowych, pozwalają na zbudowanie pełnego obrazu stanu procesu przemysłowego i skuteczne jego diagnozowanie. Ponieważ większość procesów przemysłowych jest zautomatyzowana, zatem w realizacji nadrzędnego celu, jakim jest diagnostyka procesu przemysłowego, siłą rzeczy oceniany jest również stan układów automatyki.

Ogólnie rzecz biorąc, diagnostyka procesów przemysłowych to realizacja takich działań, jak: detekcja, lokalizacja i identyfikacja uszkodzeń [1]. Zadania detekcji



Rys. 2. Diagnozowanie bazujące na symptomach

to wykrycie i sygnalizacja wystąpienia symptomów potencjalnego uszkodzenia w systemie. Lokalizacja uszkodzenia to określenie miejsca oraz czasu jego wystąpienia. Natomiast zadaniem identyfikacji jest określenie rozmiaru, charakteru i przyczyny pojawienia się uszkodzenia. Diagnostykę procesów można prowadzić, stosując podejście bazujące na symptomach oraz wykorzystując modele obiektów diagnozowania, którymi mogą być również szeroko rozumiane procesy przemysłowe.

### Diagnostyka symptomowa

Diagnostyka symptomowa polega na określeniu relacji pomiędzy sympto-

mami wystąpienia uszkodzenia a stanem technicznym konkretnego obiektu lub procesu (rys. 2). Symptomem uszkodzenia jest wystąpienie takiej wartości sygnału diagnostycznego, która świadczy o powstaniu uszkodzenia w kontrolowanej części obiektu. Przykładem symptomu może być np. wartość temperatury mieszcząca się w określonym zakresie. Bezpośrednie przewidywanie relacji diagnostycznych między cechami stanu a symptomami diagnostycznymi jest zadaniem trudnym z uwagi na dużą złożoność diagnozowanych instalacji przekładającą się na możliwość wystąpienia dużej liczby różnorodnych uszkodzeń. Aby częściowo uniknąć ograniczeń diagnostyki symptomowej,

w diagnostyce procesów bardzo chętnie stosowane są modele obiektów diagnozowania, przy czym obiektem może być zarówno urządzenie, jak i układ automatyki i sterowania.

### Diagnostyka oparta na modelu

Diagnostyka wsparta modelem polega na opracowaniu modelu odzwierciedlającego cechy określonego stanu obiektu, dla określonych warunków jego działania i parametrów procesowych, a następnie implementacji go w systemie diagnostycznym. W diagnostyce procesów mogą być stosowane modele obiektów i modele diagnostyczne. Diagnozowanie na pod-

reklama

## Poznaj kamery termowizyjne Fluke z bliska

odwiedź nas na targach Automaticon 1-4 marca 2016 w Warszawie Hala 3 stoisko F8

Wyświetlacz LCD o przekątnej 8,9 cm 640x480

Notatki głosowe

Darmowa aplikacja Fluke Connect



Łączność Wi-Fi



Ponad cztery godziny ciągłej pracy. Sprawdzenie stanu baterii bez konieczności włączenia kamery.

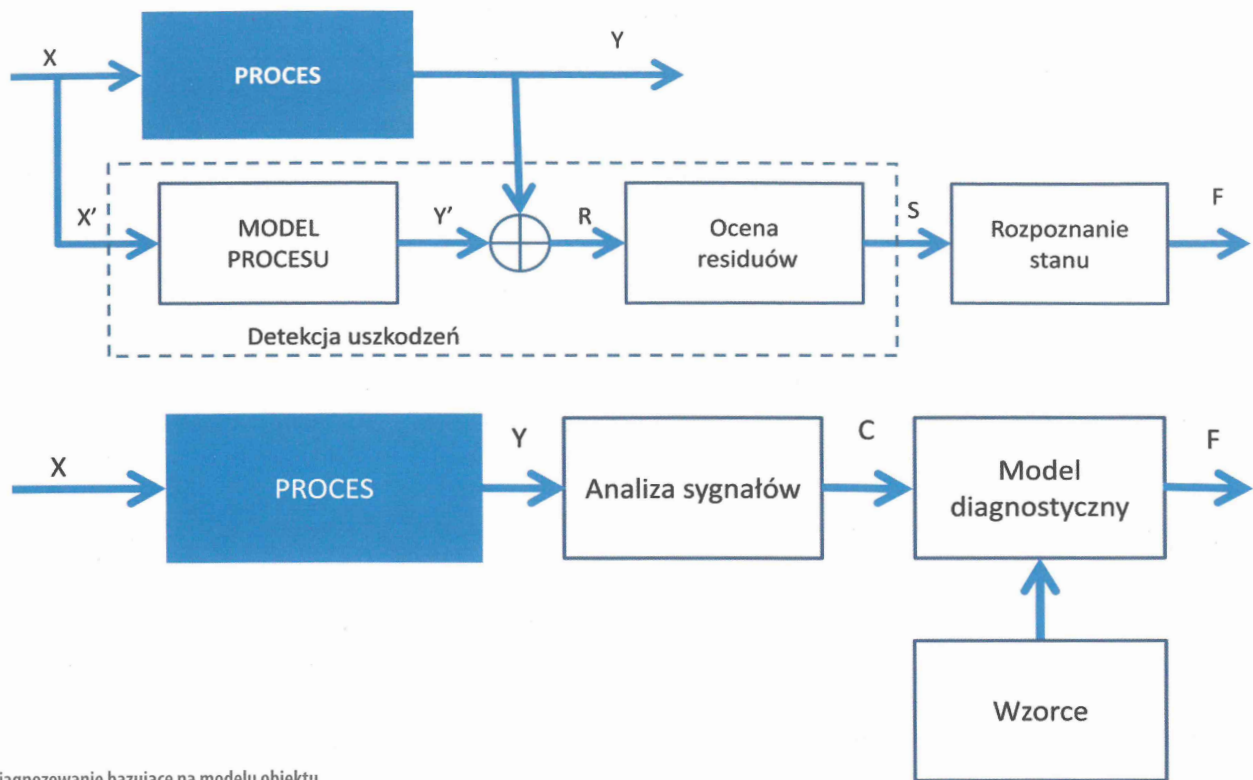


System automatycznej regulacji ostrości LaserSharp™

Kamera obrazu widzialnego 5,0 megapikseli

Matryca FPA, mikrobolometr niechłodzony, 320 x 240 pikseli  
Możliwość instalacji dodatkowych soczewek





Rys. 3. Diagnostowanie bazujące na modelu obiektu

▶ stawie modeli obiektów (rys. 3) polega na porównaniu sygnałów wyjściowych procesu i modelu. Model obiektu może być opracowany na podstawie zależności analitycznych (równań matematycznych) opisujących proces przemysłowy lub może być obiektem numerycznym utworzonym na podstawie danych wzorcowych zarejestrowanych w trakcie prawidłowego funkcjonowania procesu.

Wynikiem porównania wyjść modelu i zmiennych procesowych rzeczywistego procesu jest nowy, dodatkowy sygnał, nazywany residuum. Ocena wartości residuów jest podstawą detekcji uszkodzeń. Jeśli w procesie wystąpi uszkodzenie, różnica między sygnałami z modelu i z obiektu rzeczywistego (tzw. residuum) będzie na tyle znacząca, że w dalszych krokach możliwe będą wykrycie, lokalizacja i identyfikacja uszkodzenia.

W przypadku modeli diagnostycznych do ich budowy wykorzystuje się wzorce cech sygnałów diagnostycznych dla różnych możliwych uszkodzeń. Zatem tego typu modele pozwalają na jednoczesną detekcję, lokalizację i identyfikację uszkodzenia, ponieważ wiedza o cechach stanu jest wbudowana w model. Źródłami wiedzy stosowanymi do budowy tego typu modeli mogą być historyczne dane procesowe lub dane wygenerowane sztucznie w trakcie symulowania różnorodnych uszkodzeń. Diagnostowanie prowadzi się w oparciu

o klasyfikatory stanu przypisujące zbiór cech sygnałów diagnostycznych bieżącego procesu przemysłowego do wcześniej zdefiniowanej klasy stanu procesu.

Do budowy modeli obiektów (procesów) wykorzystywane są równania fizyczne, metody sztucznej inteligencji (np. sieci neuronowe, logika rozmyta) i ich kombinacje. Stosowanie zarówno diagnostyki symptomowej, jak i wspartej na modelach obarczone jest pewnymi ograniczeniami związanymi m.in. z następującymi czynnikami:

- zmiennym charakterem realizowanego procesu,
- brakiem danych historycznych o stanach awaryjnych,
- niejednorodną wiedzą o realizowanym procesie,
- brakiem możliwości symulowania uszkodzeń,
- trudnościami w opisie matematycznym większości procesów,
- trudnościami w tworzeniu modeli aproksymacyjnych procesów.

### Środki wspomagające wnioskowanie diagnostyczne

Podczas diagnostowania układów automatyki decyzja diagnostyczna może zostać podjęta w sposób półautomatyczny przez specjalistę, w większości przypadków w oparciu o narzędzia wizualizacji informacji diagnostycznych w postaci dwu-

lub trójwymiarowych wykresów lub przy stosowaniu prostych układów ostrzegawczych reagujących na przekroczenie zadanych wartości progowych przez wybrane symptomy. W przypadku złożonych zadań diagnostycznych decyzja diagnostyczna może zostać wypracowana w sposób automatyczny przez układy wnioskujące, wykorzystujące środki wspomagające, takie jak: metody przetwarzania, redukcji i selekcji informacji, metody sztucznej inteligencji, w tym sztuczne sieci neuronowe, algorytmy genetyczne, zbiory rozmyte, sieci przekonania, metody predykcji i analizy ciągów czasowych, metody adaptacyjne, systemy doradcze, metody rozpoznawania wzorców, metody heurystyczne i inne.

### Systemy diagnostyczne procesów przemysłowych

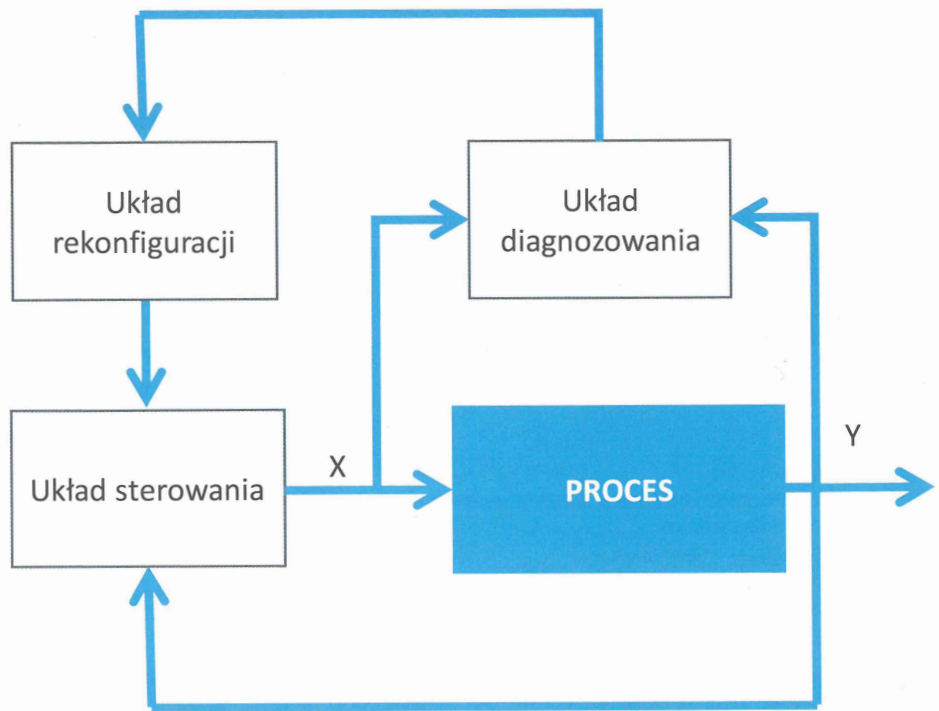
Opisane powyżej metody diagnostowania procesów mogą być implementowane w postaci modułów diagnostycznych rozszerzających możliwości systemów SCADA i DCS. Implementowane są one również w niezależnych systemach diagnozujących współpracujących z istniejącą infrastrukturą informatyczną i stanowiących wyższy poziom zabezpieczeń procesu w stosunku do klasycznych układów blokad technologicznych. Systemy diagnostyczne oferowane są przez znanych na rynku producentów rozwiązań automatyki przemysłowej, jak: ABB, Siemens, Honeywell i in. Na polskim

rynku systemów diagnostycznych realizujących zadania diagnostyki procesów można wymienić opracowane na polskich uczelniach systemy: AMANDD [4], DIASTER [4] czy OSA [1]. Przykładowo system OSA był pierwowzorem systemu OSA-2 [3], wdrożonego i stosowanego w diagnozowaniu procesu produkcji cukru w Cukrowni Lublin [1] od 1992 roku. Główną cechą systemów diagnostyki procesów przemysłowych jest możliwość wczesnego i dokładnego rozpoznawania nieprawidłowych stanów procesu przemysłowego oraz uszkodzeń urządzeń technologicznych, wykonawczych i pomiarowych. W chwilach, gdy pojawiają się niestabilności lub stany awaryjne, systemy generują diagnozy i komunikaty doradcze informujące o niezbędnych działaniach zabezpieczających. Systemy wyposażone są również w zaawansowane narzędzia do modelowania obiektów, co umożliwia tworzenie programowych sensorów, analizatorów i symulatorów procesów. Systemy są dostosowane do współpracy ze zdecentralizowanymi systemami automatyki (DCS) i z systemami nadzorowania i monitorowania procesów (SCADA).

### Układy tolerujące uszkodzenia

W niektórych układach automatyki, istotnych z punktu bezpieczeństwa realizowanego procesu, stosowane są rozwiązania redundancyjne polegające na tym, że w przypadku awarii jednego z elementów systemu jego funkcje przejmowane są przez jednostkę rezerwową. Obsługa jednostek rezerwowych realizowana jest m.in. przez systemy diagnostyczne, które po detekcji uszkodzenia są w stanie przełączyć układy rezerwowe. Stosowanie nadmiarowości sprzętowej w układach automatyki czyni je układami odpornymi na uszkodzenia.

Rozwiązaniem alternatywnym do redundancji sprzętowej jest redundancja analityczna. Redundancja analityczna wykorzystuje do swojego działania układy: diagnostyczny, układy kompensacji zakłóceń wprowadzanych przez uszkodzenie oraz rekonfiguracji struktury systemu sterowania. Układy tego typu nazywa się układami automatyki tolerującymi uszkodzenia (ang. *Fault-Tolerant Control* – FTC). Układy tolerujące uszkodzenia, podobnie jak w przypadku redundancji sprzęto-



Rys. 4. Istota działania układów tolerujących uszkodzenia

wej, pozwalają na kontynuację działania obiektu pomimo uszkodzenia jednego z komponentów, przy czym efektywność funkcjonowania obiektu może być niższa niż w przypadku braku uszkodzenia, jednak unika się w ten sposób zadziałania układów zabezpieczeń całkowicie wyłączających proces. Układy FTC doskonale sprawdzają się w przejmowaniu funkcji uszkodzonych elementów torów pomiarowych (czujników), a także niektórych urządzeń wykonawczych, szczególnie w obiektach wielowymiarowych.

### Podsumowanie

Współczesne układy automatyki mają złożoną strukturę ze względu na udział w realizacji również złożonych procesów przemysłowych. Zapewnienie bezawaryjnego działania tego typu układów wiąże się z koniecznością stosowania odpowiednich systemów monitorowania, nadzoru i diagnostyki procesów przemysłowych.

Dotychczasowe rozwiązania diagnostyczne bardzo często bazują na prostych procedurach polegających na kontroli wartości granicznych zmiennych procesowych i alarmowaniu o ich przekroczeniu. Obok prostych rozwiązań funkcjonują złożone i nowoczesne algorytmy diagnozowania procesów przemysłowych, które niestety rzadko znajdują zastosowania przemysłowe. Przeszkodą w stosowaniu nowo-

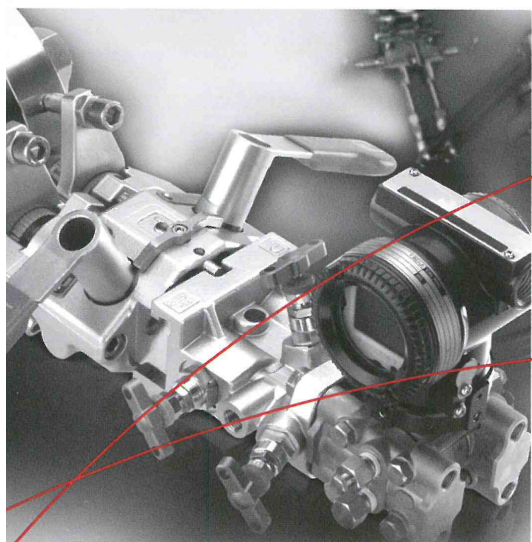
czesnych metod diagnostyki procesów z pewnością mogą być koszty wdrożenia, ale również brak odpowiedniej liczby specjalistów w tym zakresie.

Pewnym impulsem we wdrażaniu nowoczesnych rozwiązań diagnostycznych w układach automatyki mogą być ciągle rosnące wymagania w zakresie poprawy bezpieczeństwa, a także ochrony środowiska w wielu dziedzinach przemysłu. Należy się spodziewać, że systemy diagnostyczne procesów przemysłowych będą znajdowały coraz szersze zastosowanie w przemyśle i wkrótce staną się standardem w dużych i odpowiedzialnych instalacjach przemysłowych. □

### Piśmiennictwo

1. *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*. Red.: J. Korbcicz, J.M. Kościelny, Z. Kowalczyk, W. Cholewa, Warszawa 2004.
2. Kościelny J.M., Wnuk P., Syfert M.: *System zaawansowanego monitorowania i diagnostyki AMandD*. „Pomiary Automatyka Kontrola”, nr 9/2005.
3. System OSA-2. Strona internetowa [http://www.arvis.com.pl/za\\_lubl.htm](http://www.arvis.com.pl/za_lubl.htm). Stan na dzień 2.02.2014 r.
4. Wnuk P., Syfert M., Kościelny J.M.: *Inteligentny system sterowania i diagnostyki procesów przemysłowych DiaSter*. [W:] *Systemy wykrywające, analizujące i tolerujące usterki*. Pod red. Z. Kowalczyka, PWNT, Gdańsk 2009, s. 57-65.

## CENTRUM SZKOLEŃ INŻYNIERSKICH



Twój partner w przemyśle

### INTEGRUJEMY GŁÓWNE PIONY PRZEMYSŁOWE

- kompleksowo ucząc nowoczesnych technik i metod działania.

- Hydraulika siłowa
- Pneumatyka przemysłowa
- Frezarki i tokarki CNC
- Automatyka produkcji / PLC / SCADA
- Robotyka, sensoryka produkcji
- Systemy CAD / CAM / CAE
- Tworzywa sztuczne
- Zarządzanie jakością produkcji
- Technologie informatyczne

### Kursy i warsztaty praktyczne

kierowane do Służb utrzymania ruchu w tym działów: automatyki, mechanicznych, energetycznych, technicznych oraz projektów konstrukcyjnych.

### Gwarantujemy

- ✓ Specjalistyczne szkolenia w doskonałych warunkach
- ✓ Nowoczesne pracownie szkoleniowe
- ✓ Unikalne stanowiska dydaktyczne do modelowania układów
- ✓ Wyselekcjonowanych specjalistów z bogatym doświadczeniem przemysłowym
- ✓ Fachową dokumentację szkoleniową



Dołącz do Nas na **Facebooku**  
[www.facebook.com/EMTSystems](http://www.facebook.com/EMTSystems)



Dołącz do Nas na **Google+:** EMT-Systems



SIEMENS

**YouTube** Zapraszamy na nasz kanał

[www.emt-systems.pl](http://www.emt-systems.pl)