

SYSTEMY DIAGNOSTYCZNE DLA ZAUTOMATYZOWANYCH PROCESÓW PRZEMYSŁOWYCH*

Streszczenie: W artykule przedstawiono charakterystykę systemów diagnostycznych dla zautomatyzowanych procesów przemysłowych. Krótko omówiono przykładowe systemy: MODI, MPM, EFTAS, SEXTANT, InSupport oraz DIAG.

Abstrakt: This article introduces a characterization of diagnostic systems for automated industrial processes. Exemplary systems: MODI, MPM, EFTAS, SEXTANT, InSupport and DIAG are briefly described.

1. WSTĘP

Stany awaryjne powodują znaczne i długotrwałe zakłócenia przebiegu procesu produkcyjnego, zmniejszające wydajność, a w skrajnych przypadkach prowadzące do jego zatrzymania. Straty ekonomiczne w takich przypadkach są bardzo duże. Niektóre stany awaryjne mogą prowadzić do skażenia środowiska naturalnego lub zniszczenia instalacji produkcyjnej, a także mogą stanowić zagrożenie dla życia ludzi. Posługując się dotychczasowymi komputerowymi układami automatyki operatorzy dużych procesów technologicznych nie są w stanie poradzić sobie z nieprzewidywanymi uszkodzeniami. Wielość pojawiających się komunikatów oraz alarmów nie pozwala na podjęcie właściwej decyzji. Z drugiej strony w procesie zachodzą często negatywne zjawiska wolnozmiennie. Efekty ich działania mogą przez dłuższy czas pozostać niezauważone przez obsługę. Konieczne stają się zatem komputerowe systemy diagnostyczne (SD) wypracowujące diagnozy o uszkodzeniach i błędach w sposób automatyczny oraz wspomagające decyzje operatorów dotyczące sterowania i zabezpieczenia obiektu w stanach awaryjnych.

2. DIAGNOSTYKA PROCESU A DIAGNOSTYKA SYSTEMU STERUJĄCEGO

Zadania diagnostyczne współczesnych zdecentralizowanych systemów automatyki dzielą się na dwie części:

- diagnostykę procesu obejmującą rozpoznawanie nieprawidłowości procesu oraz uszkodzeń komponentów instalacji technologicznej, urządzeń pomiarowych oraz elementów wykonawczych,
- diagnostykę systemu sterującego.

* Praca została wykonana w ramach programu badawczego PATIA, Politechnika Warszawska 1996/97

Te dwa wzajemnie uzupełniające się kierunki diagnozowania realizowane są zwykle niezależnie. Systemy komputerowe do sterowania procesami wyposażane są przez producenta w środki autodiagnostyczne, natomiast diagnostyka procesu i urządzeń obiektowych jest projektowana przez wyspecjalizowane biura projektowe lub użytkowników.

Funkcje diagnostyki systemu sterującego realizują wszystkie nowoczesne zdecentralizowane systemy automatyki, a także pojedyncze sterowniki programowalne i regulatory mikroprocesorowe. Umożliwią one zlokalizowanie nie tylko uszkodzonej stacji procesowej, sterownika, stacji operatorskiej czy magistrali komunikacyjnej lecz dokładnie wskazują uszkodzony moduł tych urządzeń. Te zagadnienia nie są jednak tematem niniejszego referatu.

3. SYSTEMY ALARMOWE JAKO PROSTY UKŁAD DIAGNOSTYCZNY

Prostą wersję systemu diagnostycznego procesu stanowią zadania sygnalizacji alarmów w przemysłowych systemach automatyki. Informacja alarmowa wkomponowana jest w hierarchiczną strukturę obrazów, zarówno standardowych, jak też synoptycznych.

Systemy automatyki zapewniają standardowo możliwość wykrywania i sygnalizowania następujących rodzajów alarmów: przekroczenia zakresu wiarygodności sygnałów, przekroczenia granic alarmowych i dopuszczalnej szybkości zmian wartości zmiennych procesowych, przekroczenia dopuszczalnych wartości odchyłek regulacji, nieprawidłowych stanów zmiennych binarnych. Powyższe środki niewątpliwie znacznie ułatwiają operatorom analizę alarmów i identyfikację przyczyn ich wystąpienia, jednakże funkcje diagnostyczne spoczywają na obsłudze. Wadami systemów alarmowych są:

- duża liczba alarmów sygnalizowanych w krótkim przedziale czasu w przypadku powstania groźnych uszkodzeń, powodująca zjawisko przeciążenia informacyjnego operatorów,
- uszkodzenie urządzenia lub błąd obsługi objawia się zazwyczaj wystąpieniem wielu alarmów, przy czym alarmy te mogą być sygnalizowane na różnych obrazach synoptycznych i standardowych,
- alarmy będące skutkiem różnych uszkodzeń sygnalizowane mogą być równocześnie na tym samym obrazie synoptycznym.

Utрудnia to operatorom wypracowanie diagnozy, tj. identyfikację przyczyny zaistnienia zbioru alarmów, która w wielu przypadkach jest niezbędna do podjęcia właściwej akcji zabezpieczającej. Wypracowanie właściwej diagnozy zależy zatem tylko od wiedzy, doświadczenia i stanu psychofizycznego operatora.

4. FUNKCJE NOWOCZESNYCH SYSTEMÓW DIAGNOSTYCZNYCH

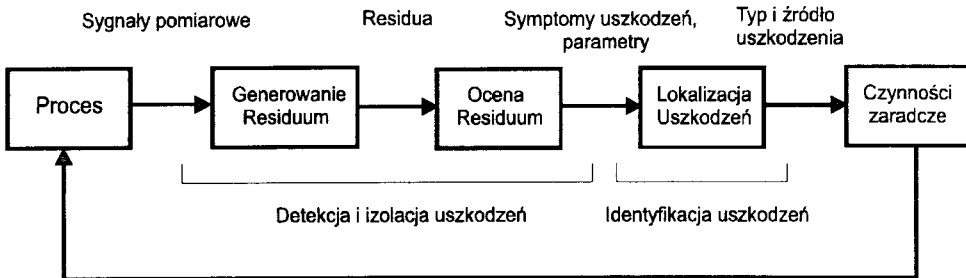
Niedoskonałość systemów alarmowych oraz potrzeba wczesnego i dokładnego rozpoznawania stanów nieprawidłowych i awaryjnych spowodowała rozwój metod diagnostyki procesów przemysłowych datujący się od początku lat 70-tych. Na bazie tych metod tworzone są w ostatnim okresie systemy diagnostyczne dla procesów przemysłowych stanowiące rozszerzenia współczesnych systemów automatyki.

Zakres funkcji diagnostyczno - zabezpieczających realizowanych automatycznie przez komputer może obejmować:

- detekcję pojawiających się uszkodzeń oraz innych błędów (takich jak: błędy obsługi operatorskiej, niebezpieczne stany procesu, zaniki zasilania, wystąpienie braku surowców itp.) wraz z sygnalizacją (alarmowaniem) wykrytych symptomów,
- automatyczną lokalizację (identyfikację) uszkodzeń i błędów,

- inicjację algorytmów zabezpieczających, mających na celu ograniczenie wpływu uszkodzeń i błędów na przebieg procesu, między innymi poprzez rekonfigurację struktury sprzętowej i/lub programowej.

Ogólna koncepcja realizacji zadań diagnostyczno - zabezpieczających przedstawiona została na rys.1. Stanowi ona podstawę funkcjonowania nowoczesnych systemów diagnostycznych.



Rys. 1. Główne etapy diagnozowania

Na podstawie wartości mierzonych zmiennych procesowych prowadzona jest stała kontrola procesu i urządzeń obiektowych. W tym celu realizowane są różnorodne testy, umożliwiające wykrywanie (detekcję) uszkodzeń i błędów. Najczęściej polegają one na ocenie rozbieżności między sygnałami mierzonymi a nominalnymi (np. wyliczonymi z modelu matematycznego). Na podstawie wyników testów prowadzona jest identyfikacja uszkodzeń / błędów, której rezultatem jest diagnoza określająca stan obiektu. Diagnoza umożliwia ocenę istniejącego zagrożenia. System powinien wspomagać obsługę w formie komunikatów doradczych informujących o niezbędnych działaniach zabezpieczających. Istnieje również możliwość zabezpieczenia automatycznego, polegającego na rekonfiguracji struktury sprzętowej i/lub programowej.

Nieliczne opracowane dotychczas systemy diagnostyczne różnią się zakresem realizowanych funkcji oraz wykorzystywanymi metodami detekcji i lokalizacji uszkodzeń. Do detekcji stosowane są metody: klasyczne (kontrola granic alarmowych, trendów, redundancja sprzętowa, kontrola sygnałów sprzężeń zwrotnych itp.), analityczne - bazujące na modelach matematycznych (metody równań zgodności, obserwatorów diagnostycznych i identyfikacji on-line), sztucznej inteligencji (zastosowanie logiki rozmytej i sztucznych sieci neuronowych). W procesie lokalizacji uszkodzeń stosowane są metody: rozpoznawania obrazów, sztucznych sieci neuronowych, logiki klasycznej i rozmytej, grafy przyczynowo-skutkowe, tablice diagnostyczne.

Istotnym problemem występującym we wszystkich metodach identyfikacji uszkodzeń jest zagadnienie niepewności. Dotyczy ono zarówno symptomów (zakłócenia pomiarowe, niedokładności modeli) jak również wiedzy diagnostycznej (relacje symptomy - uszkodzenia). Problemy te próbuje się rozwiązać za pomocą zbiorów rozmytych, teorii Bayesa, teorii Dempstera- Shafera, współczynników pewności CF.

5. SYSTEMY DIAGNOSTYCZNE

Pierwsze systemy diagnostyczne (SD) były rozwiązaniami jednostkowymi, powstałymi w wyniku prac badawczych. Były one zwykle projektowane dla konkretnego procesu, nie miały zatem waloru uniwersalności. Rozwiązania takie zostały omówione między innymi w pracach [2,5]. Obecnie są projektowane systemy przeznaczone dla określonej klasy obiektów (np. kotłów bloków energetycznych - system MODI [15]) lub systemy bardziej uniwersalne, mogące po odpowiedniej konfiguracji znaleźć zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu

(np. systemy DIAG [9], InSupport [1], EFTAS [14], SEXTANT [12]). SD tworzone są często na bazie szkieletowych systemów eksperckich czasu rzeczywistego takich jak G2 [3,15] lub Nexpert Objects [11]. Wiele systemów projektowanych jest jednak od podstaw.

Znane na rynku automatyki firmy zaczynają wprowadzać SD jako rozszerzenie dużych zdecentralizowanych systemów sterowania. Przykładami są: system MODI [15] przeznaczony do współpracy z systemem PROCONTROL P firmy ABB oraz oprogramowanie diagnostyczne MPM systemu DAMATIC XD [4] firmy Valmet. SD projektowane są także jako rozszerzenia uniwersalnych systemów sterowania nadrzędnego i wizualizacji procesów SCADA. Wymienić tu należy system DIAG [9] współpracujący z systemem OSA-2 firmy ARVIS, system InSupport [1] wraz z systemem InTouch firmy Wonderware oraz oprogramowanie omówione w pracach [2,10].

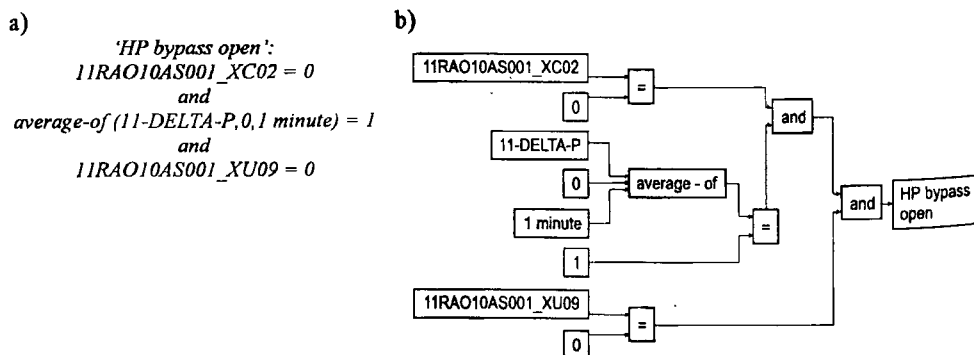
Systemy diagnostyczne znajdują zastosowanie w przemyśle: energetycznym [10,12,13,15], chemicznym [2], hutniczym [11], spożywczym [7,8] i innych. W Polsce pierwszy SD czasu rzeczywistego został wdrożony do eksploatacji w Cukrowni Lublin w 1987 r. [7,8]. System OSA służył do nadzorowania i monitorowania stacji wyparnej, produktowni i kotłowni. Wyposażony był w uniwersalne oprogramowanie do detekcji i identyfikacji uszkodzeń bazujące na metodzie DTS - dynamicznych tablic stanu [6]. System ten został opracowany w Instytucie Automatyki i Robotyki PW. Nową wersją tego rozwiązania jest system DIAG [9].

Poniżej krótko opisano kilka wybranych systemów diagnostycznych.

5.1 System MODI [15]

W 1991 roku firma ABB wprowadziła do znanego na rynku systemu sterowania i zarządzania elektrownią PROCONTROL P moduł diagnostyczny pod nazwą MODI (MOdel - based Dlnagnosis). MODI działa w oparciu o system ekspertowy czasu rzeczywistego G2 na platformie komputerów VAX firmy DEC.

System tworzą cztery główne elementy: baza wiedzy, moduł wnioskujący, interfejs użytkownika oraz konfigurator. Baza wiedzy składa się ze standardowych w typowych systemach ekspertowych reguł produkcji, zdań i predykatów. Reguły w systemie zapisywane są jako wyrażenia logiczne w postaci tekstowej (rys.2a.) i graficznej (rys.2b.). Poniżej przedstawiono przykładowe wyrażenie używane do kontroli sterowania zaworem obejściowym.



Rys. 2. Reguła kontroli zaworu obejściowego

Drugim elementem bazy wiedzy są drzewa zdarzeń. Drzewo łączy wyróżnione zdarzenia awaryjne poprzez ich kolejne przyczyny aż do uszkodzeń pierwotnych. Cyklicznie testowane

są tylko zdarzenia znajdujące się w korzeniu drzewa. Po wykryciu wystąpienia takiego zdarzenia testowane są zdarzenia poziomu niższego (zapisane w postaci wyrażeń logicznych jak na rys.2a,2b), aż do określenia przyczyn pierwotnych. Ten mechanizm zmniejsza obciążenie systemu na detekcje uszkodzeń, jednak zwiększa czas potrzebny do sformułowania ostatecznej diagnozy. Symptomy generowane są poprzez porównanie rzeczywistych danych pomiarowych z formułami logicznymi dla poszczególnych uszkodzeń.

Diagnozy prezentowane są w postaci tekstowej oraz graficznie na obrazie drzewa uszkodzeń. Równocześnie operator otrzymuje informacje dotyczące dalszego prowadzenia procesu. Na podstawie diagnoz drukowane są raporty i tworzone zbiory archiwalne.

W efekcie kilkuletniej pracy systemu w elektrowni Staudinger (Hanau - Niemcy) powstały biblioteki zawierające modele analityczne i drzewa zdarzeń dla najważniejszych podsystemów elektrowni.

5.2 Moduł MPM systemu DAMATIC XD [4]

DAMATIC XD jest dużym system sterowania i nadzorowania procesów przemysłowych. W jego skład wchodzi również moduł detekcji uszkodzeń. Zasada działania modułu MPM (Model -Based Performance Monitoring) opiera się na porównywaniu procesowych sygnałów mierzonych z sygnałami wyliczanymi z modelu. Diagnostowaniu podlegają tylko urządzenia technologiczne (pompy, zawory, turbiny). Monitorowanie przebiega w czasie rzeczywistym, równoległe dla wielu urządzeń. Operator uzyskuje informacje w postaci dwóch przebiegów czasowych, rzeczywistego i przewidywanego na podstawie modelu urządzenia. Rola modułu MPM kończy się wraz z detekcją stanu awaryjnego. Lokalizacji uszkodzenia musi dokonać człowiek.

5.3 System EFTAS [14]

Oprogramowanie diagnostyczne EFTAS opiera się na zasadzie funkcjonowania typowego systemu eksperckiego czasu rzeczywistego. Bazą wiedzy diagnostycznej są tu drzewa uszkodzeń, oparte na normie DIN 25424. Pojedyncze drzewo składa się z wielu hierarchicznie połączonych relacji przyczynowo - skutkowych typu AND lub OR. W węzłach struktury znajdują się konkretne stany procesu (pojęcia symptom i uszkodzenie nie są rozróżniane). Mogą nimi być uszkodzenia, zdarzenia procesowe, formuły matematyczne. Każdy ze stanów klasyfikowany jest do kilku grup typu: stan pewny (na pewno wystąpił), niezany, o ograniczonej pewności, przewidywany i prawdopodobny. Klasyfikacja dokonywana jest zarówno przed ale głównie w czasie wnioskowania. Problem niepewności wystąpienia danego stanu rozwiązano za pomocą prawdopodobieństw warunkowych.

Diagnozowanie polega na przeszukiwaniu tak utworzonego drzewa, w celu odnalezienia najbardziej pierwotnej przyczyny zdarzenia początkowego. System gwarantuje nieprzekraczalny czas wypracowywania diagnozy. EFTAS w przeciwieństwie do MODI jest systemem szkieletowym i nie zawiera gotowych baz wiedzy. Nie korzysta również ze wsparcia komputerowych systemów automatyki (akwizycja danych i wizualizacja).

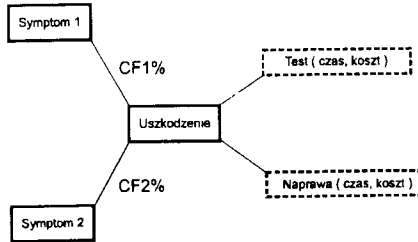
5.4 System SEXTANT [12]

System SEXTANT powstał w wyniku prac badawczych nad nadzorowaniem procesów zachodzących w elektrowniach atomowych. Po raz pierwszy zastosowano go do diagnozowania pomocniczego układu wody zasilającej w reaktorze jądrowym. Obiekt diagnozowania opisywany jest przez projektanta w postaci grafów powiązań (ang. bond graphs), przekształcanych automatycznie kolejno w grafy przyczynowo-skutkowe (ang. casual graphs), a następnie w grafy zdarzeń (ang. event graphs). Detekcja uszkodzeń realizowana jest przy pomocy modeli numerycznych oraz jakościowych. Do identyfikacji stanów awaryjnych SEXTANT używa grafu zdarzeń. System tworzy tzw. scenariusze, które są hipotezami na

temat obiektu w danej chwili. Diagnostowanie realizowane jest iteracyjnie. W kolejnych krokach algorytm przedstawia coraz dokładniejsze rozwiązania wraz z prognozami zachowania obiektu w przyszłości. SEXTANT zawiera zaawansowane procedury kontroli czasu wykonania oraz synchronizacji zadań.

5.5 System InSupport [1]

System InSupport 3.0 jest aplikacją ze znanej na rynku automatyki rodziny systemów firmy Wonderware (InTouch). Opis obiektu diagnostowania zaproponowany w systemie jest dość prosty. Jako elementy bazy diagnostycznej wyróżnione są symptomy, uszkodzenia i procedury.



Rys. 3. Element bazy diagnostycznej systemu InSupport

Symptomami mogą być alarmy technologiczne lub różnego typu zdarzenia. Związek między symptomami i uszkodzeniami jest podstawową relacją diagnostyczną systemu. Dla każdej pary określany jest współczynnik pewności (CF - certainty factor) opisujący jak często występuje dane uszkodzenie w przypadku pojawienia się określonego symptomu. Współczynnik ten określany jest doświadczalnie. Do każdego uszkodzenia przyporządkowane są dwie procedury: testowa stwierdzająca wystąpienie danego uszkodzenia oraz naprawcza.

Atrybutami procedur są czas oraz koszt wykonania podawane arbitralnie przez projektującego bazę diagnostyczną. Należy tutaj podkreślić, że procedura testowa oznacza wyłącznie instrukcję postępowania diagnostycznego, a nie program automatycznie realizowanych testów.

Proces wnioskujący opiera się na zasadzie minimalizacji czasu i kosztu likwidacji uszkodzenia. Danymi wejściowymi są pojawiające się w procesie symptomy. System wskazuje najbardziej prawdopodobne uszkodzenia, a następnie proponuje odpowiednie procedury naprawcze. InSupport optymalizuje sekwencje tych procedur z uwzględnieniem kosztów realizacji i prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych uszkodzeń.

5.6 System DIAG [9,16]

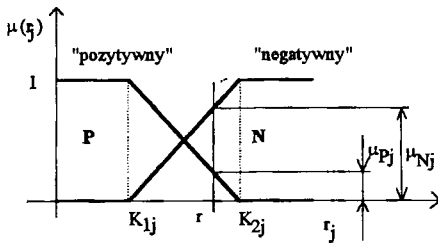
System DIAG został opracowany w Instytucie Automatyki i Robotyki. Wykorzystuje on metodę DTS - dynamicznych tablic stanu [6] oraz jej rozszerzenie o opis rozmyty - FDTS [16]. DIAG pracuje na platformie systemu operacyjnego OS/2 (w przygotowaniu Windows 95/NT) we współpracy z systemem sterowania i monitorowania OSA-2.

Obiektem diagnostowania w ujęciu metody DTS jest zbiór urządzeń technologicznych i procesów w nich zachodzących oraz zbiór urządzeń pomiarowych i wykonawczych. Opis takiego obiektu zawiera:

- zbiór pierwotnych uszkodzeń - definiowany przez użytkownika
- zbiór testów diagnostycznych - określanych jako ciąg operacji dokonywanych programowo na wartościach sygnałów pomiarowych, których celem jest skontrolowanie poprawności funkcjonowania określonej części obiektu diagnostowania.
- relację diagnostyczną - określającą związki między uszkodzeniami a wynikami testów. Pojedynczy element relacji wskazuje, iż sprawdzenie j kontroluje uszkodzenie k .

Algorytm sprawdzenia składa się z dwóch części: detekcyjnej oraz decyzyjnej. W pierwszej części dokonywane są niezbędne obliczenia prowadzące do wyodrębnienia symptomu (residuum), a następnie w wyniku jego oceny uzyskuje się wynik testu. W ujęciu rozmytym

wprowadzono związaną z każdym testem zmienną lingwistyczną. Umożliwia to przedstawienie wyniku testu w postaci „pozytywny”, „negatywny”, „negatywny dodatni”, „negatywny ujemny” itp. Poniższy rysunek przedstawia przykładową partycję wyników testu.



Rys. 4. Przykładowa partycja wyników testu diagnostycznego

Schemat działania systemu DIAG pokrywa się ze standardowym procesem diagnozowania (rys. 1.). Zmienne procesowe pobierane są z systemu monitorowania OSA-2. Sygnały te przetwarzane są w oddzielnym module detekcji uszkodzeń. Moduł identyfikacji stanów awaryjnych zbudowany jest z wielu pracujących równolegle wątków. Pierwszy z nich dokonuje cyklicznej oceny residuów.

W razie wystąpienia wyniku negatywnego w osobnym wątku inicjowany jest proces diagnostyczny, którego zadaniem jest wypracowanie diagnozy zgodnie z algorytmem metody F-DTS [16]. Każdy z procesów diagnostycznych przekazuje wyniki do wątku prezentacyjnego, odpowiedzialnego za komunikację z użytkownikiem (sygnalizacja dźwiękowa, opis diagnozy) oraz archiwizację. Informacje na temat uszkodzenia oraz przebiegu procesu wnioskowania zapisywane są do pliku tekstowego automatycznie po wypracowaniu diagnozy.

System DIAG jest konfigurowalny. Elastyczność bazy diagnostycznej pozwala stosować go w szerokiej gamie obiektów przemysłowych. Możliwa jest współpraca z różnymi algorytmami detekcyjnymi od metod klasycznych i analitycznych po metody sztucznej inteligencji. System posiada rzadko spotykane w innych rozwiązaniach cechy, takie jak: uwzględnienie niepewności, praca na dynamicznych zbiorach danych, wizualizacja diagnoz na obrazach synoptycznych.

System DIAG będzie pilotowo wdrażany w bieżącym roku w EC Siekierki do diagnostyki torów pomiarowych w ciągu parowo - wodnym kotła oraz w wybranym węźle technologicznym Cukrowni Lublin.

6. WNIOSKI

Opracowywanie podstaw teoretycznych diagnostyki obiektów dynamicznych jak również coraz szersze zapotrzebowanie ze strony przemysłu stanowią katalizator rozwoju uniwersalnych, elastycznych systemów diagnostycznych. Wszystko wskazuje na to, iż odbiorcami tej technologii będą nie tylko wielkie zakłady przemysłu energetycznego, hutniczego, chemicznego, ale również zakłady średnie, a także małe. Stosowanie SD jest uzasadnione dla wszystkich procesów niebezpiecznych oraz procesów, w których straty w stanach awaryjnych przewyższają koszty zainstalowania SD. W perspektywie najbliższych lat należy spodziewać się rozpowszechnienia uniwersalnych systemów diagnostycznych w podobnym stopniu jak ma to miejsce w przypadku systemów wizualizacji i zarządzania.

Problemem technicznym staje się zatem opracowanie kryteriów oceny i porównania SD. Jakość SD zależy od: zakresu realizowanych funkcji diagnostycznych, sposobu wizualizacji diagnoz, sposobu konfiguracji systemu oraz stosowanych metod detekcji i identyfikacji uszkodzeń, które wpływają istotnie na własności i efekty procesu diagnozowania (np. uwzględnienie niepewności wnioskowania, możliwość rozpoznawania uszkodzeń wielokrotnych, dokładność diagnoz). Szczegółowe omówienie tych kryteriów przekracza ramy niniejszej pracy. Należy przy tym podkreślić, że jakość uniwersalnych SD jest bardzo istotna jednak nie przesądza o jakości konkretnej jego aplikacji. Ta zależy bowiem głównie od

stopnia opomiarowania oraz od wiedzy o obiekcie diagnozowania, która musi zostać wprowadzona do systemu. Wiedza ta obejmuje zarówno znajomość reguł funkcjonowania obiektu w stanie normalnym (np. modeli matematycznych ilościowych lub jakościowych) jak też znajomości relacji pomiędzy uszkodzeniami a ich symptomami.

7. LITERATURA

- [1] Ballina E. : *InSupport Product Database*; Wonderware, 1996
- [2] Cassar J.P.H., Ferhati R., Woinet R. : *Fault detection and isolation system for a refinery unit*; SAFEPROCESS, Espoo, 1994, 802-804.
- [3] Halme A., Visala A., Selkämaho J., Manninen J. : *Fault detection by using process functional states and temporal nets*; SAFEPROCESS, Espoo, 1994, 655-660.
- [4] Hartikainen J. : *Model-based performance monitoring of process equipment in an automation system*; SAFEPROCESS, Espoo, 1994, 802-804.
- [5] Jummo T., Parkkinen R. : *An expert system for fault diagnosis and condition monitoring of an air pressure system*; SAFEPROCESS, Baden-Baden, 1991, 93-98.
- [6] Kościelny J.M. : *Diagnostyka ciągłych zautomatyzowanych procesów przemysłowych metodą dynamicznych tablic stanu*; Elektronika z.95, Warszawa, 1991.
- [7] Kościelny J.M.: *Wykrywanie i identyfikacja stanów niesprawności aparatury technologicznej i układów automatyki na przykładzie stacji wyparnej w Cukrowni Lublin*; X Krajowa Konferencja Automatyki, Lublin, 1988, tom 2, 115-122.
- [8] Kościelny J.M., Pieniążek A.: *Algorithm of Fault Detection and Isolation Applied for Evaporation Unit in Sugar Factory*; Control Engineering Practice, Vol.2, No.4, 1994, 649-657.
- [9] Kościelny J.M., Sędziak D., Sikora A : *System DIAG detekcji i identyfikacji uszkodzeń dla procesów przemysłowych*; XII Krajowa Konferencja Automatyki, Gdynia, 1994, 698-704.
- [10] Lautala P., Heli A., Matti V. : *A hierarchical model-based fault diagnosis system for a peat power plant*; SAFEPROCESS, Baden-Baden, 1991, 93-98.
- [11] Lee I., Kim M., Jung J., Chang K. : *Rule-based expert system for diagnosis of energy distribution in steel plant*; IFAC Symposium - On-line fault detection and supervision in the chemical process industries, Newark, kwiecień 1992, 239-243.
- [12] Lore J.P., Lucas B., Evrard J.M. : *Sextant: an interpretation system for continuous processes*; SAFEPROCESS, Espoo, 1994, 655-660.
- [13] Majanne Y., Ruokonen T., Kurki M., Ala-Siuru P. : *Hierarchical on-line diagnosis system for power plants*; SAFEPROCESS, Baden-Baden, 1991, 93-98.
- [14] Nold S. : *Knowledge based real time fault diagnosis with EFTAS*; SAFEPROCESS, Baden-Baden, 1991, 93-98.
- [15] Schlee M., Simon E. : *MODI an expert system supporting reliable, economical power plant control*; ABB Review, 1994, nr 6-7, str. 39-46.
- [16] Sędziak D. : *Metoda F-DTS identyfikacji uszkodzeń w procesach przemysłowych*; I Krajowa Konferencja Naukowo Techniczna Diagnostyka Procesów Przemysłowych, Podkowa Leśna, czerwiec 1996, 68-72.