

XV Krajowa Konferencja Automatyki

Tom II



**Redaktorzy:
Zdzisław Bubnicki
Roman Kulikowski
Janusz Kacprzyk**

XV Krajowa Konferencja Automatyki Tom II



Redaktorzy:
Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący	Zdzisław BUBNICKI
Zastępca Przewodniczącego	Roman KULIKOWSKI

CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA	Michał BIAŁKO
Mikołaj BUSŁOWICZ	Władysław FINDEISEN
Ryszard GESSING	Henryk GÓRECKI
Jakub GUTENBAUM	Jerzy JÓZEFczyk
Stanisław KACZANOWSKI	Tadeusz KACZOREK
Janusz KACPRZYK	Jerzy KLAMKA
Józef KORBICZ	Zbigniew KOWALSKI
Krzysztof KOZŁOWSKI	Juliusz L. KULIKOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI	Kazimierz MALANOWSKI
Krzysztof MALINOWSKI	Wojciech MITKOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI	Władysław PEŁCZEWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA	Leszek RUTKOWSKI
Stanisław SKOCZOWSKI	Roman SŁOWIŃSKI
Jerzy ŚWIĄTEK	Andrzej ŚWIERNIAK
Ryszard TADEUSIEWICZ	Piotr TATJEWSKI
Krzysztof TCHOŃ	Leszek TRYBUS
Jan WĘGLARZ	Andrzej P. WIERZBICKI

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący	Roman KULIKOWSKI
Zastępcy Przewodniczącego	Janusz KACPRZYK
	Stanisław KACZANOWSKI
	Tadeusz KACZOREK
	Krzysztof MALINOWSKI
Członkowie	Roman OSTROWSKI
	Tadeusz PUCHAŁKA
	Dariusz WAGNER
Sekretarze naukowci	Jan STUDZIŃSKI
	Jan W. OWSIŃSKI

ISBN 83-89475-01-4

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

SYSTEMY STEROWANIA

APLIKACJA SYSTEMU STEROWANIA TOLERUJĄCEGO USZKODZENIA DLA STANOWISKA LABORATORYJNEGO WALCZAKA

Marcin LESZCZYŃSKI, Michał SYFERT

Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Robotyki
ul. Św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa,
e-mail: (m.leszczynski) (m.syfert)@mchtr.pw.edu.pl

Streszczenie: Artykuł przedstawia projekt, aplikację oraz wybrane testy systemu sterowania tolerującego uszkodzenia elementów wykonawczych i torów pomiarowych dla stanowiska laboratoryjnego walczak. System ten współpracuje z systemem diagnostycznym AMandD, opracowanym w Instytucie Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej, który wypracowuje diagnozę o stanie obiektu. Na jej podstawie wykonywana jest automatyczna lub półautomatyczna rekonfiguracja struktury sterowania, która może pozwolić na dalsze prowadzenie procesu pomimo istniejących w nim uszkodzeń.

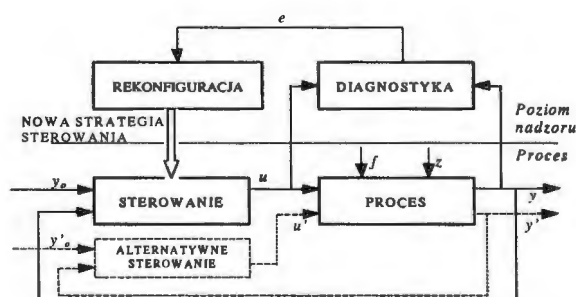
Słowa kluczowe: System diagnostyczny, system tolerujący uszkodzenia, rekonfiguracja.

1. WSTĘP

Współczesne systemy sterowania coraz częściej wyposażane są w zaawansowane narzędzia wspomagające prowadzenie procesów przemysłowych. Systemy takie, oprócz realizacji podstawowych funkcji systemów SCADA i DCS, takich jak zbieranie, wizualizacja i archiwizacja zmiennych procesowych, zarządzanie alarmami, itp., coraz częściej umożliwiają realizację takich funkcji jak: zaawansowane modelowanie dla potrzeb sterowania i predykcji wartości zmiennych procesowych, optymalizacja oraz bieżąca diagnostyka procesu (w tym, uszkodzeń urządzeń wykonawczych, komponentów instalacji technologicznej oraz torów pomiarowych).

Informacja wypracowana przez zaawansowane moduły monitorowania stanu procesu, w tym w szczególności moduły diagnostyczne, pozwala na projektowanie układów tolerujących uszkodzenia. Układy takie mogą umożliwić prawidłowe lub nieznacznie pogorszone prowadzenie procesu w przypadku zaistnienia uszkodzeń, których wystąpienie w normalnym trybie pracy silnie wpływałoby na jakość prowadzonego procesu lub wręcz powodowało jego zatrzymanie.

Na rys. 1 pokazano strukturę systemu sterowania odpornego na uszkodzenia, jaki rozważano w prezentowanych badaniach.



Rys. 1. Schemat sterowania tolerującego uszkodzenia.

W warstwie nadrzędnej można wyróżnić dwa zasadnicze podsystemy:

- **Blok rekonfiguracji.** Jest to element nadrzędny w stosunku do podstawowego układu realizującego algorytmy sterowania. Jego zadaniem jest wykonanie rekonfiguracji systemu sterowania według jednego z zaprojektowanych scenariuszy. Wybór scenariusza zależy od rodzaju uszkodzenia, które pojawiło się w procesie.
- **System diagnostyczny.** System ten automatycznie wypracowuje informację o zaistniałych w procesie uszkodzeniach. Informacja ta jest przekazywana do systemu sterowania (w szczególności do bloku sterowania).

Sposób wykorzystania informacji o pojawiających się uszkodzeniach zależy od przyjętej strategii oraz od stopnia pewności tej informacji. Rekonfiguracja struktury sterowania może być wywoływana:

- na żądanie operatora, który wcześniej otrzymał, przeanalizował i potwierdził informację o uszkodzeniu,
- automatycznie po przekazaniu diagnozy do bloku rekonfiguracji. W tym przypadku blok rekonfiguracji musi realizować procedury decyzyjne wywołujące proces rekonfiguracji na podstawie analizy otrzymywanych diagnoz.

Automatyczna rekonfiguracja może być stosowana właściwie tylko wtedy, gdy diagnoza o stanie procesu wypracowywana jest z wysokim stopniem pewności.

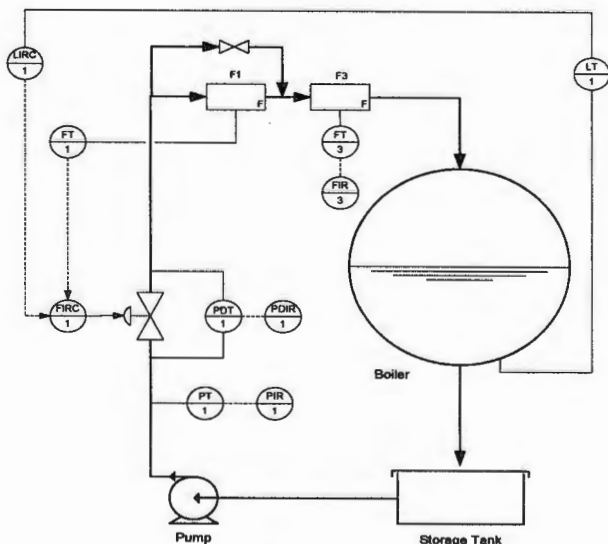
Rekonfiguracja struktury sterowania, w zależności od rodzaju uszkodzenia, może być realizowana poprzez:

- wykorzystanie alternatywnych sygnałów zastępujących uszkodzone pomiary (redundancja sprzętowa lub analityczna),
- wykorzystanie rezerwowych elementów wykonawczych,
- rekonfigurację algorytmu sterowania, np. przejście ze sterowania w kaskadzie na prostą regulację jednopoziomową.

Należy podkreślić, że struktury rezerwowe muszą odzwierciedlać zasady działania struktury pierwotnej.

2. OBIEKT STEROWANIA I DIAGNOZOWANIA

Opisywany system sterowania tolerujący uszkodzenia elementów wykonawczych oraz torów pomiarowych został zaimplementowany dla stanowiska laboratoryjnego walczaka znajdującego się w Instytucie Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej. Stanowisko to zostało specjalnie zaprojektowane tak, aby umożliwić prowadzenie badań z zakresu projektowania i uruchamiania systemów bieżącej diagnostyki oraz układów regulacji tolerujących uszkodzenia [4]. Na rys. 2. pokazano jedną z możliwych konfiguracji stanowiska, którą wykorzystywano w prezentowanych badaniach.



Rys. 2. Schemat stanowiska laboratoryjnego walczaka.

W rozważanej konfiguracji stanowiska możliwe jest wykorzystanie:

- redundancji sprzętowej elementów wykonawczych – dwóch zaworów regulacyjnych VB1 i VB2,
- redundancji sprzętowej czujników pomiarowych – przepływomierzy F1 i F3,

Zbiór dostępnych zmiennych procesowych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zbiór zmiennych procesowych.

	OPIS	ZAKRES
SP	Wartość zadana poziomowi wody w walczaku	0-500 mm
CV	Aktualne położenie grzyba zaworu	0-100 %
dP	Różnica ciśnienia na zaworze VB1	0-275 kPa
F1	Przepływ medium (przepływomierz Vortex)	0-5 m ³ /h
F3	Przepływ medium (przepływomierz elektromagnetyczny)	0-5 m ³ /h
L	Poziom w zbiorniku Z1	0-500 mm
P	Ciężnienie przed zaworem VB1	0-500 kPa

Do sterowania i monitorowania pracy stanowiska wykorzystany jest system DeltaV firmy Emerson. System sterowania realizuje regulację poziomu wody w zbiorniku Z1 w kaskadowym układzie regulacji. Podstawowym elementem wykonawczym jest zawór regulacyjny VB1. Pomocniczą wartością regulującą jest wartość przepływu F1. Moduł rekonfiguracji jest zaimplementowany jako jeden z bloków przetwarzania systemu DeltaV.

W tabeli 2. przedstawiono listę rozważanych i możliwych do zasymulowania uszkodzeń.

Tabela 2. Zbiór uszkodzeń

	OPIS
f1	Przeciek z walczaka (zbiornik Z1)
f10	Uszkodzenie grzyba lub gniazda zaworu VB1
f11	Spadek obrotów pompy
f12	Otwarcie zaworu obejścia
f13	Zatrzymanie pracy pompy
f2	Dławienie wypływu z walczaka
f3	Zarastanie rurociągów
f4	Wyciek z rurociągu
f5	Uszkodzenie przetwornika poziomu L
f6	Uszkodzenie przetwornika przepływu F1
f7	Uszkodzenie przetwornika ciśnienia P1
f8	Uszkodzenie przetwornika różnicy ciśnienia dP
f9	Uszkodzenie pozycjonera lub siłownika zaworu VB1

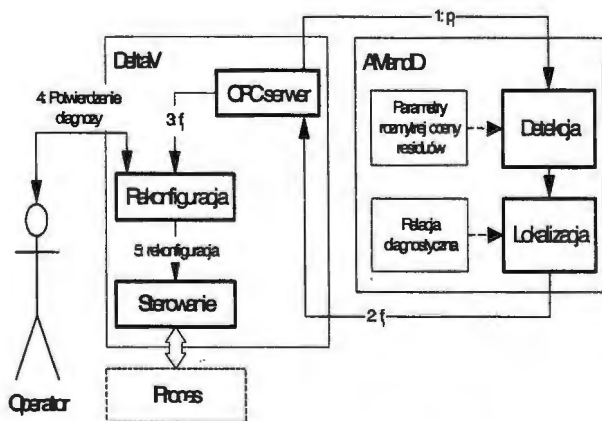
Cześć z wyżej wymienionych uszkodzeń można zasymulować poprzez system sterowania i odpowiednio

przygotowanej do tego celu wizualizacji w systemie DeltaV. Uszkodzenia elementu wykonawczego (zaworu VB1) jest realizowane poprzez zmianę ciśnienia zasilania sprężonego powietrza (reduktor) podawanego na komorę siłownika zaworu. Uszkodzenie manifestuje się niewłaściwym położeniem grzyba zaworu, przez co zostaje zaburzony proces regulacji.

Uszkodzenie przetwornika przepływu F1, symulowane jest poprzez otwarcie zaworu obejścia (rys. 2). Uszkodzenie charakteryzuje się niewłaściwym wskazaniem wartości przepływu.

3. SYSTEM DIAGNOSTYCZNY

Do realizacji zadań diagnostycznych zaimplementowano System Zaawansowanego Monitorowania i Diagnostyki „AMandD” opracowany w Instytucie Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej. System ten stanowi niezależne oprogramowanie w stosunku do systemu sterowania i monitorowania DeltaV. Schemat współpracy obu systemów przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Schemat współpracy systemu sterowania DeltaV z systemem diagnostycznym AMandD.

W każdym kroku obliczeniowym nowe wartości zmiennych procesowych (p_i) przesyłane są do systemu diagnostycznego. Na podstawie analizy tych wartości oraz w oparciu o zapisaną relację diagnostyczną prowadzone jest wnioskowanie, co do stanu obiektu. W jego wyniku system diagnostyczny wypracowuje diagnozę o istniejących w procesie uszkodzeniach. Jest ona formułowana w postaci par: uszkodzenie, współczynnik pewności jego obecności. Ze względu na ograniczone możliwości prowadzenia diagnostyki badanego procesu system diagnostyczny nie zawsze jest w stanie podać precyzyjną diagnozę. Niektóre z uszkodzeń są niewykrywalne lub grupami nierozróżnialne lub rozróżnialne warunkowo. Dlatego do systemu sterowania przekazywane są współczynniki pewności wystąpienia poszczególnych grup uszkodzeń (e_i). Zostały one przedstawione w tabeli 3. Przesyłane do systemu DeltaV diagnozy mogą być wykorzystane np. przez moduł rekonfiguracji.

W zależności od aktualnego stanu procesu uszkodzenia warunkowo rozróżnialne mogą być wskazywane samodzielnie albo w grupie uszkodzeń nierozróżnialnych

Tabela 3. Grupy uszkodzeń wskazywane przez system diagnostyczny.

DIAGNOZA	OPIS	UWAGI
e(11)	uszkodzenie f11	uszkodzenia rozróżnialne
e(3)	uszkodzenie f3	
e(7)	uszkodzenie f7	
e(8)	uszkodzenie f8	
e(13)	uszkodzenie f13	uszkodzenia warunkowo rozróżnialne
e(4)	uszkodzenie f4	
e(6)	uszkodzenie f6	
e(10)	uszkodzenie f10	uszkodzenia grupami nierozróżnialne
e(10,12,9)	uszkodzenie f10 albo f12 albo f9	
e(4,6)	uszkodzenie f4 albo f6	

System diagnostyczny czasami nie jest w stanie wypracować diagnozy co do stanu obiektu. Dlatego do systemu sterowania przesyłane są także dwa dodatkowe współczynniki pewności: stanu pełnej zdatności obiektu (e^{OK}) oraz nieznanego stanu obiektu (e^{US}).

Wymiana informacji pomiędzy systemami odbywa się z wykorzystaniem technologii OPC. System DeltaV posiada wbudowany serwer OPC natomiast system diagnostyczny pełni rolę klienta. Praca systemu diagnostycznego jest w pełni autonomiczna i automatyczna. Z punktu widzenia systemu sterowania pełni on rolę zewnętrznego modułu obliczeniowego.

4. SCENARIUSZ REKONFIGURACJI

Po dokonaniu analizy obiektu i układu sterowania (patrz rys. 2) oraz oceny uzyskiwanej wykrywalności i rozróżnialności uszkodzeń przez system diagnostyczny zaproponowano cztery scenariusze rekonfiguracji układu sterowania:

Scenariusz I: Przelączenie na redundantny zawór regulacyjny VB2. Scenariusz ten jest uruchamiany po wypracowaniu przez system diagnostyczny diagnozy e(10) lub e(10,12,9).

Scenariusz II: Przelączenie z wykorzystaniem redundantnego przetwornika F3, uruchamiane po wykryciu uszkodzenia f6 (diagnoza e(6)).

Scenariusz III: Przelączenie z wykorzystaniem redundantnej wartości poziomu L odtwarzanej z modelu. Wartość ta jest dostarczana z modułu symulacyjnego systemu diagnostycznego. Scenariusz jest uruchamiany dla uszkodzenia f5;

Scenariusz IV: Rekonfiguracja algorytmu sterowania. Przelączenie z kaskadowego na jednoobwodowy układ regulacji poziomu wody. Rekonfiguracja realizowana dla uszkodzenia f6 (diagnoza e(6)).

Realizacja scenariusza zależy od współczynnika pewności diagnozy. Dla uszkodzeń warunkowo rozróżnialnych przy dość dużej wartości diagnozy $e(6)$ i $e(10)$, przełączenie może odbywać się automatycznie.

Dla diagnoz $e(7)$ i $e(8)$ ze względu na niegroźny charakter wskazywanych uszkodzeń, nie mających wpływu na zastosowany układ regulacji, przewidziano bloki automatycznie podstawiające wartość modelu zmiennej procesowej z modułu symulacyjnego systemu diagnostycznego AMandD.

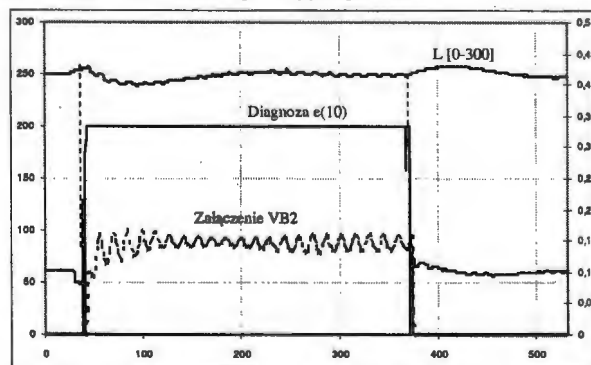
W artykule nie zostały przedstawione symulacje dla uszkodzeń sygnalizowanych diagnozą $e(11)$. Dla tego typu uszkodzenia zachodzi konieczność dostosowania parametrów sterowania układu regulacji.

W przypadku uszkodzeń sygnalizowanych diagnozą $e(13)$ i $e(4)$ nie możliwe jest dalsze działanie procesu i zachodzi konieczność jego zatrzymania.

Należy jednak wziąć jeszcze pod uwagę uszkodzenia grupami nierozróżnialne sygnalizowane diagnozą $e(10,12,9)$ i $e(4,6)$, dla których kontynuacja procesu uzależniona jest od interwencji operatora. W tym przypadku to człowiek po upewnieniu się i potwierdzeniu informacji o uszkodzeniu sam musi dokonać wyboru scenariusza dalszej pracy układu.

5. WYNIKI BADAŃ

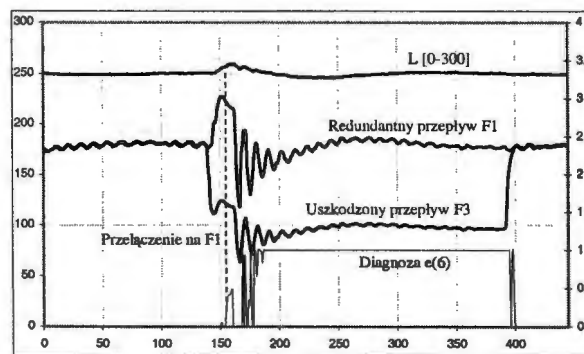
Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki badań dla symulacji uszkodzenia podstawowego elementu wykonawczego – zaworu regulacyjnego VB1.



Rys. 4. Przebieg wielkości regulowanej (L) z zasymulowanym uszkodzeniem, wraz z przebiegiem wartości diagnozy $e(10)$.

Zadaniem regulatora było utrzymywanie poziomu wody w walczaku na wartości 240 mm. W chwili $t=25$ s zasymulowano uszkodzenie zaworu VB1. Po wskazaniu uszkodzenia elementu wykonawczego ($t=38$ s) przez system diagnostyczny nastąpiło przełączenie na zawór regulacyjny VB2.

Uszkodzenie przetwornika F3 zasymulowano otwarciem zaworu obejścia w $t=140$ s, jego rozpoznanie i przełączenie na redundantny przetwornik F1 ($t=150$ s) pozwoliło na kontynuację procesu bez jego zatrzymania (rys. 5).



Rys. 5. Przebieg wielkości regulowanej (L) z zasymulowanym uszkodzeniem przetwornika F3 wraz z przebiegiem wartości diagnozy $e(6)$.

6. PODSUMOWANIE

Zaprezentowany system zaawansowanego sterowania tolerującego uszkodzenia jest przykładem efektywnego wykorzystania informacji dostarczanych przez systemy (procedury) diagnostyczne. Prawidłowe wykorzystanie szybko wypracowanej diagnozy o stanie obiektu może pozwolić na dalsze prowadzenie procesu pomimo zaistniałych uszkodzeń. Ograniczane są straty związane ze znacznym pogorszeniem jakości prowadzenia procesu lub wręcz jego zatrzymaniem, które to jest szczególnie niekorzystne w wyniku zadziałania blokad technologicznych.

APPLICATION OF FAULT TOLERANT CONTROL SYSTEM FOR BOILER LABORATORY SETUP

Abstract: In the paper design, application and selected tests of FTC system for actuators and measurement tracks in boiler laboratory setup are presented. Based on elaborated diagnosis concerning object state, automatic or semi-automatic reconfiguration of control structure is performed. It allows to continue the process control despite of faults appearance.

Literatura

- [1] Blanke M., Kinnaert M., Lunze J., Staroswiecki M. (2003) *Diagnosis and Fault-Tolerant Control*. Springer, Berlin.
- [2] Kościelny J. M., Syfert M. (2003) Fuzzy logic application to diagnostics of industrial processes. Preprints of: *5th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes - SAFEPROCESS'2003*, 9-11.VI.2003, Washington D.C., USA, 771-776.
- [3] Wasiewicz P., Koj J., Kościelny J.M., Bartyś M. (2001) Stanowisko do badań metod diagnostyki oraz układów automatyki tolerujących uszkodzenia. *V Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna Diagnostyka Procesów Przemysłowych, DPP'01 Łągow Lubuski*, 17-19 września 2001.



Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk

ISBN 83-89475-01-4