



*VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa*  
**Systemy Wspomagania  
w Zarządzaniu Środowiskiem**  
*Czechy, Harrachov 2009*

**Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa nr 6/2009**

*dr inż. Leszek CHYBOWSKI, mgr inż. Robert GRZEBIENIAK* - Akademia Morska w Szczecinie  
Wydział Mechaniczny, Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych  
ul. Wały chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin Polska  
tel.: +4891 4809412 e-mail: l.chybowski@am.szczecin.pl, r.grzebieniak@am.szczecin.pl

**METODA OCENY STANU TECHNICZNEGO ZAWORÓW  
ROZRUCHOWYCH WYSOKOPREŻNEGO SILNIKA OKRĘTOWEGO**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono opracowaną przez autorów metodę diagnozowania szczelności zaworów rozruchowych stosowanych w systemach rozruchowych silników okrętowych. Metoda oparta jest na pomiarach temperatur w przewodach łączących zawory rozruchowe na poszczególnych układach cylindrowych z kolektorem powietrza rozruchowego. Przedstawiono schemat blokowy układu oceny stanu technicznego zaworów rozruchowych. Zaprezentowano system przetwarzania sygnału w układzie diagnozowania. Zaprezentowano trzy najbardziej przydatne zdaniem autorów rozwiązania bloku algorytmicznego. Przedstawiono przykładowe wyniki działania bloków algorytmicznych wybranych typów dla różnych zbiorów danych pomiarowych. Przedstawiono dwa wybrane przykłady rozwiązania technicznego proponowanego przez autorów układu oceny stanu technicznego zaworów rozruchowych.

**METHOD OF MARINE DIESEL ENGINE STARTING AIR VALVES  
TECHNICAL STATE EVALUATION**

**Summary:** Paper presents method of marine diesels starting air valves leak-tightness monitoring. Method is invented by authors, and it is based on the measurement of temperatures in the lines between each cylinder unit starting valves and starting air manifold. Diagnostic system block diagram has been presented. Signal transformation in diagnostic system has been shown. Three different types of algorithmic block have been pointed out. Examples of output results of algorithmic block operation for different measurement data sets have been shown. Two technical solutions of the proposed diagnostic system have been presented.

## 1. WPROWADZENIE

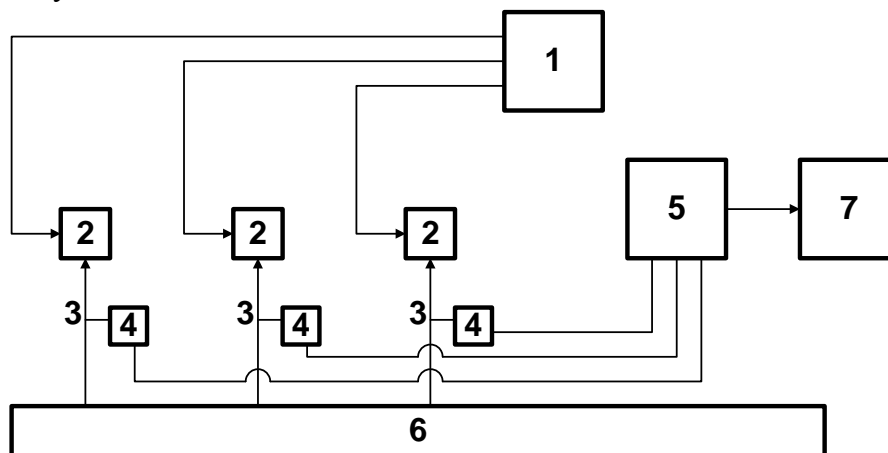
W wyniku analizy literaturowej dostępnych rozwiązań zabezpieczeń, stwierdzono brak zabezpieczeń aktywnych przed wybuchem w kolektorach powietrza rozruchowego [3, 7, 8]. Aktualnie stosowane są tylko zabezpieczenia przeciwko skutkom eksplozji (minimalizujące efekty wybuchu) [2, 4, 5, 6].

Zaproponowany przez autorów układ poprawia bezpieczeństwo eksploatacyjne oraz zwiększa efektywność pracy silnika, niezwłocznie informując personel techniczny o potencjalnym przedmuchu płynów (spaliny, paliwo, olej cylindrowy) do kolektora rozruchowego i związanego z tym spadku wywiązywanej energii na danym układzie cylindrowym.

Zaproponowany układ diagnozowania pozwala w czasie pracy silnika, a więc jeszcze przed potencjalną eksplozją na zaalarmowanie eksploatatora silnika o potencjalnej możliwości przedmuchu płynów z komory spalania do kolektora wydechowego. Układ pozwala na zdalną sygnalizację potencjalnej niesprawności oraz wskazuje dokładnie układ cylindrowy, na którym wystąpiło uszkodzenie zaworu rozruchowego czego nie zapewniają stosowane aktualnie rozwiązania techniczne. Przedstawione w artykule rozwiązania są aktualnie przedmiotem postępowania patentowego.

## 2. PRZYKŁADY WYKONANIA UKŁADU DIAGNOZOWANIA STANU TECHNICZNEGO ZAWORÓW ROZRUCHOWYCH

Układ diagnozowania stanu technicznego zaworów rozruchowych wolnoobrotowego spalinowego silnika wysokoprężnego zbudowany jest z kilku podstawowych bloków, które przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 Schemat blokowy układu diagnozowania stanu technicznego zaworów rozruchowych

Fig. 1 Block diagram of starting air valves technical state evaluation system

Na rysunku wyszczególniono podstawowe elementy systemu powietrza rozruchowego (kolor czarny), takie jak: 1 – rozdzielacz powietrza rozruchowego, 2 – zawór rozruchowy na głowicy cylindrowej, 3 – przewód rurowy łączący kolektor z zaworem rozruchowym, 6 – główny kolektor powietrza rozruchowego oraz elementy prezentowanego układu diagnozowania stanu technicznego zaworów rozruchowych, którymi są: 4 – czujniki temperatury, 5 – blok algorytmiczny i 7 – system sygnalizacji alarmowej.

Autorzy zaproponowali dwa rozwiązania techniczne układu diagnozowania stanu technicznego zaworów rozruchowych. W rozwiązaniu pierwszym czujniki temperatury np. rezystancyjne czujniki PT 100 osadzone w osłonie ochronnej umieszczone są w jednakowej odległości pomiędzy kolektorem powietrza rozruchowego a zaworami rozruchowymi na głowicy, ok. 100 mm przed (patrząc od strony kolektora) zabezpieczającego zawór bezpiecznika membranowego lub łapacza płomienia. Czujniki zasilane są z układu algorytmicznego 5 tworząc

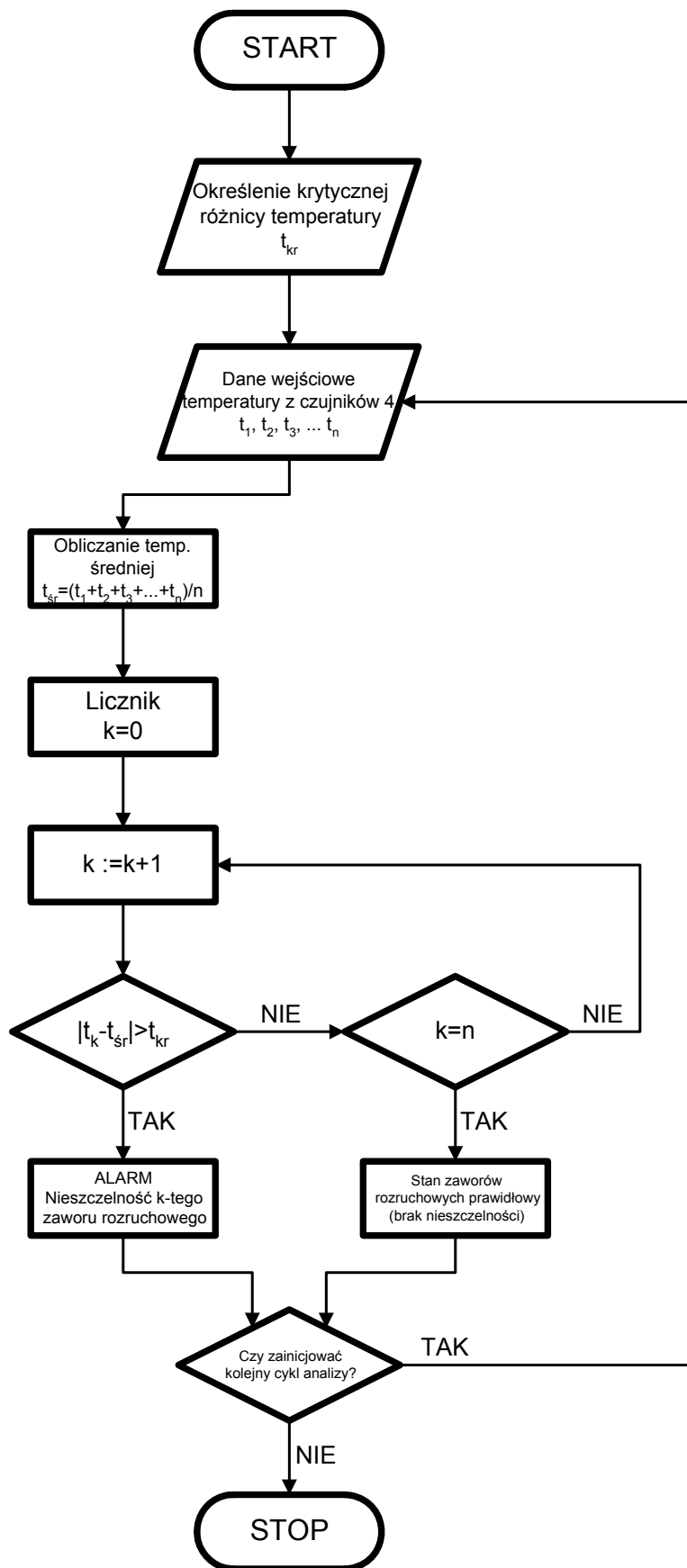
zamknięte pętle pomiarowe. Układ 5 rejestruje rezystancje poszczególnych czujników 4 czyli odpowiadające im temperatury. Element 5 może być realizowany jako komputer osobisty klasy *PC* z zainstalowaną kartą pomiarową z wejściami analogowymi – każdy czujnik podłączony jest do jednego z wejść karty. Działanie bloku obróbki sygnału przedstawiono na rys. 2.

Oprogramowanie zainstalowane na komputerze przetwarza dalej sygnał z czujników temperatury, obliczając wartość średnią  $t_{sr}$  ze wszystkich czujników i określając bezwzględne różnice pomiędzy wartością sygnału dla każdego z czujników, a wartością średnią. Jeśli różnica wskazań przekroczy wartość krytyczną równą ok. 25 °C, układ generuje informację o zaistnieniu podejrzenia nieszczelności na określonym zaworze rozruchowym. Jednocześnie układ wyprowadza sygnał do systemu alarmowego maszynowni 6 za pośrednictwem jednego z dostępnych w komputerze *PC* interfejsów *ISA*, *PCI*, *PCI Express*, *RS*, *Centronics* lub *USB*.

W rozwiązaniu tym istnieje szereg możliwości realizacji działania bloku algorytmicznego, jako najważniejsze nasuwają się:

- możliwość wykorzystania kodów do programowania graficznego układów z urządzeniami wirtualnymi, takich jak *LabView* lub *DasyLab*;
- napisanie specjalnego dedykowanego oprogramowania działającego jako niezależna aplikacja;
- rozbudowanie istniejącego oprogramowania diagnostycznego dla systemów maszynowni o dodatkowe kanały monitorowane podczas pracy.

Oprogramowanie pozwala na wizualizację wyników działania układu wyświetlając wartości temperatur określone z poszczególnych czujników oraz wartość średnią temperatury z czujników.



Rys. 2 Blok przetwarzania sygnałów w układzie diagnozowania  
 Fig. 2 Signal transformation block in monitoring system

Opis innego rozwiązanie układu diagnozowania przedstawiono poniżej. Układ diagnozowania, podobnie jak poprzednio składa się z czujników temperatury w tym przypadku są to termoelementy zamknięte w obudowach i umieszczone w osłonie ochronnej umieszczone są w jednakowej odległości pomiędzy kolektorem powietrza rozruchowego a zaworami rozruchowymi na głowicy, ok. 100 mm przed (patrząc od strony kolektora) zabezpieczającego zawór bezpiecznika membranowego lub łapacza płomienia. Blok algorytmiczny jest wykonany w tym rozwiązaniu jako urządzenie elektroniczne.

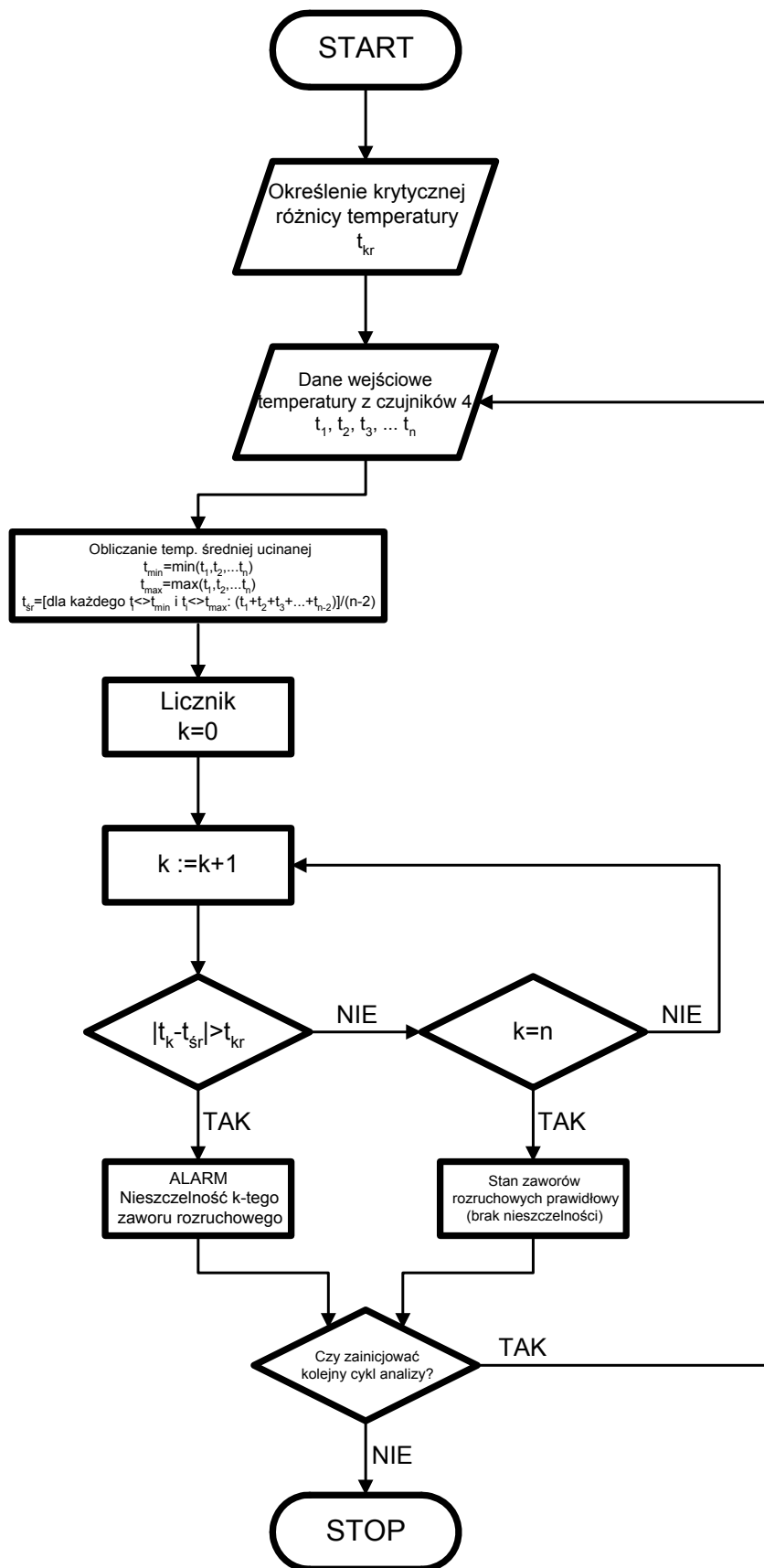
Sygnal z termoelementów jest wzmacniany w układzie obróbki sygnału 5, a następnie przetwarzany jest na sygnał cyfrowy w przetworniku analogowo-cyfrowym, następnie zachowuje się wartość temperatur z każdego z czujników w pamięci bloku 5. Kolejno układ oblicza wartość średnią temperatury z wszystkich czujników 4 i porównuje z wartościami temperatur z poszczególnych czujników 4. Porównanie polega na wyznaczeniu bezwzględnej wartości różnicy tych temperatur. Jeśli różnica przekroczy wartość krytyczną równą ok. 25°C, układ generuje sygnał wyjściowy o alarmie wraz z informacją o lokalizacji potencjalnej nieszczelności zaworu rozruchowego.

Sygnal wyjściowy w postaci cyfrowej przekazywany jest do systemu monitoringu pracy maszynowni poprzez podpięcie do wolnego cyfrowego kanału wejściowego globalnego systemu monitoringu maszynowni, np. takich producentów jak *Vista*, *Siemens*, *STN Atlas*, *Kongsberg*, *ABB* itp. Wizualizacja realizowana jest w systemie *SCADA* odpowiedzialnym za monitoring oraz ewentualne zdalne sterowanie elementami maszynowni. W przypadku przekroczenia przez różnicę temperatur dla jednego z czujników, wartości krytycznej generowany jest alarm. Sygnalizacja realizowana jest z wykorzystaniem standardowego podsystemu alarmowego systemu monitoringu maszynowni. Równocześnie z sygnalizacją alarmową na monitorze operatorskim wyświetlana jest informacja o niesprawności i jej lokalizacji. Podczas prawidłowej pracy blok 5 przesyła informację o prawidłowym stanie zaworów rozruchowych, co równocześnie jest sygnałem dla układu monitoringu maszynowni o prawidłowym działaniu bloku diagnozowania stanu zaworów rozruchowych.

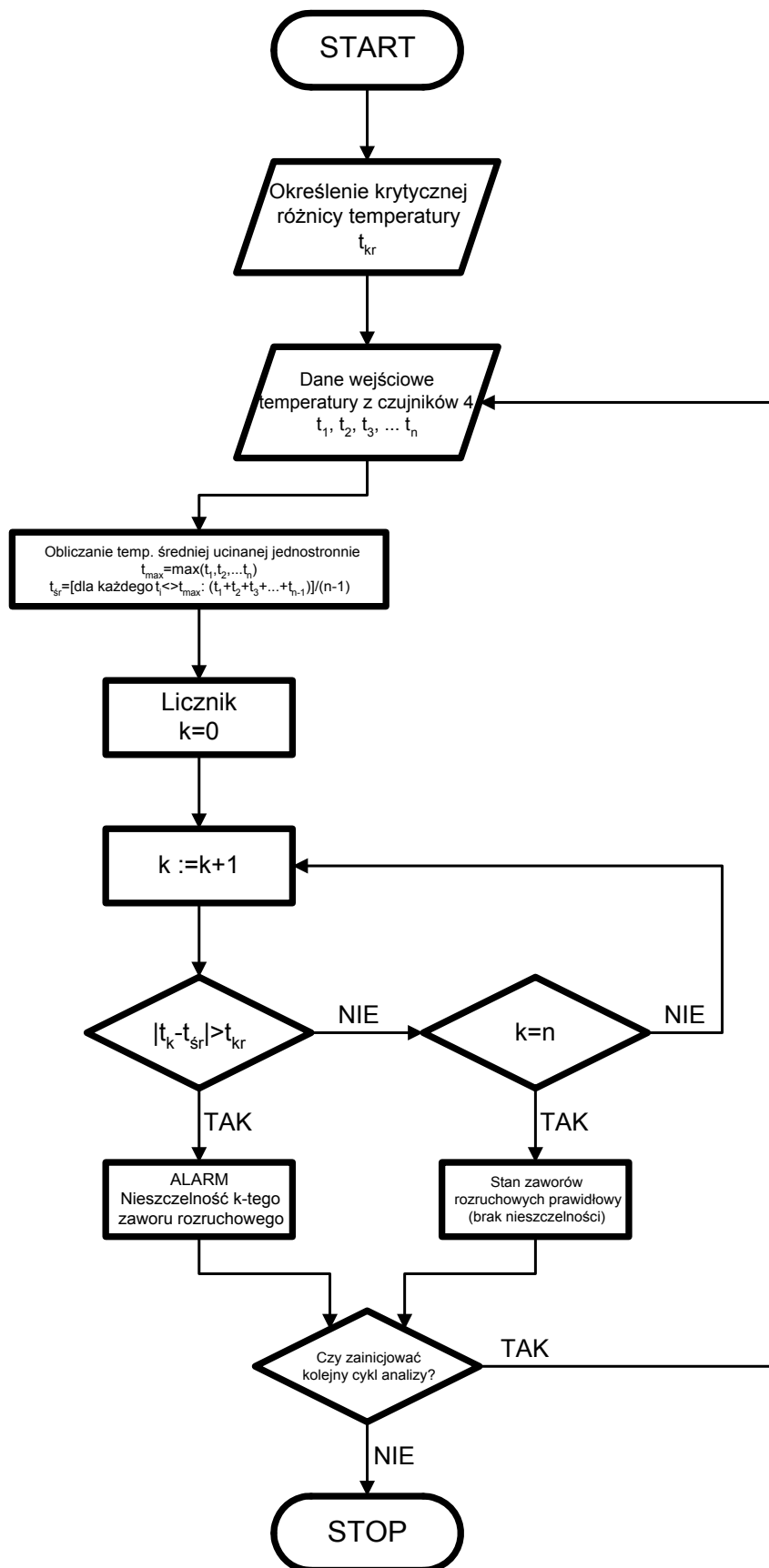
### **3. RODZAJE BLOKÓW PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW W UKŁADZIE DIAGNOZOWANIA**

Blok przetwarzania sygnałów 5 w układzie diagnozowania stanu technicznego zaworów rozruchowych może być zrealizowany w kilku wersjach:

- wersja podstawowa w której wartość średnia temperatury z czujników wyliczana jest jako średnia arytmetyczna wartości temperatur z wszystkich czujników temperatury (rys. 2);
- wersja zmodyfikowana I w której wartość średnia temperatury z czujników wyliczana jest jako średnia arytmetyczna ucinana wartości temperatur z czujników temperatury (rys. 3) – tak wyznaczona średnia jest estymatorem wykazującym małą wrażliwość na wartości odstające w próbie, w tym przypadku odrzucana jest wartość maksymalna i minimalna temperatury;
- wersja zmodyfikowana II w której wartość średnia temperatury z czujników wyliczana jest jako średnia arytmetyczna ucinana jednostronnie wartości temperatur z czujników temperatury (rys. 4) – tak wyznaczona średnia jest estymatorem wykazującym małą wrażliwość na wartości odstające maksymalne w próbie, w tym przypadku odrzucana jest wartość maksymalna temperatury.



Rys. 3 Zmodyfikowany blok przetwarzania sygnałów (wer. I)  
Fig. 3 Modified signal transformation block (ver. I)



Rys. 4 Zmodyfikowany blok przetwarzania sygnałów (wer. II)  
Fig. 4 Modified signal transformation block (ver. II)

#### 4. SYMULACJA DZIAŁANIA BLOKÓW ALGORYTMICZNYCH PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW

Dla przedstawionych rozwiązań bloków algorytmicznych, autorzy artykułu przeprowadzili symulacje działania systemu diagnostycznego. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe temperatury zmierzone przed zaworami rozruchowymi na poszczególnych cylindrach. Przyjęto dziewięć cykli pomiarów na każdym cylindrze.

Tabela 1 Temperatury gazu zmierzone przed zaworami rozruchowymi

SILNIK 8 cylindrowy												
Temp. zmierzona przed zaworem rozruchowym na ukl. cyl. Nr [deg C]												
1	2	3	4	5	6	7	8	t <sub>sr</sub>	t <sub>mi</sub> n	t <sub>ma</sub> x	t <sub>sr</sub> bez max	t <sub>sr</sub> bez max i min
60	61	61	60	65	68	62	50	61	50	68	60	62
60	61	65	60	65	68	62	50	61	50	68	60	62
60	62	70	61	65	68	62	50	62	50	70	61	63
60	62	75	62	65	68	62	50	63	50	75	61	63
60	63	80	63	65	68	62	50	64	50	80	62	64
60	63	90	65	65	68	62	50	65	50	90	62	64
60	64	92	65	65	68	62	50	66	50	92	62	64
60	64	95	66	65	68	62	50	66	50	95	62	64
60	64	98	66	65	68	62	50	67	50	98	62	64

Przyjęto dopuszczalną odchyłkę temperatur na poziomie 30<sup>0</sup>C. W tabeli 2 i przedstawiono wyniki symulacji działania algorytmu w wersji podstawowej (dla średniej arytmetycznej). W tym przypadku alarm zostanie wygenerowany dla temp. 98 stopni na trzecim układzie cylindrowym.

Tabela 2 Różnice temperatur dla poszczególnych cylindrów (algorytm podstawowy)

SILNIK 8 cylindrowy							
Różnica temp.  t <sub>i</sub> - t <sub>sr</sub>   dla i-tego ukl. cyl. [deg]							
1	2	3	4	5	6	7	8
0,88	0,13	0,13	0,88	4,13	7,13	1,13	10,88
1,38	0,38	3,63	1,38	3,63	6,63	0,63	11,38
2,25	0,25	7,75	1,25	2,75	5,75	0,25	12,25
3,00	1,00	12,00	1,00	2,00	5,00	1,00	13,00
3,88	0,88	16,13	0,88	1,13	4,13	1,88	13,88
5,38	2,38	24,63	0,38	0,38	2,63	3,38	15,38
5,75	1,75	26,25	0,75	0,75	2,25	3,75	15,75
6,25	2,25	28,75	0,25	1,25	1,75	4,25	16,25
6,63	2,63	31,38	0,63	1,63	1,38	4,63	16,63

W tabeli 3 przedstawiono wyniki symulacji działania algorytmu w wersji z ucinaniem jednostronnym. W tym przypadku alarm zostanie wygenerowany wcześniej niż dla algorytmu ze średnią bez ucinania – dla temp. 95 stopni na trzecim układzie cylindrowym.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki symulacji działania algorytmu w wersji z ucinaniem dwustronnym. W tym przypadku alarm również zostanie wygenerowany wcześniej niż dla algorytmu ze średnią bez ucinania – dla temp. 95 stopni na trzecim układzie cylindrowym.



Tabela 3 Różnice temperatur dla poszczególnych cylindrów  
(algorytm zmodyfikowany, wer. I)

<b>SILNIK 8 cylindrowy</b>							
<b>Różnica temp.  <math>t_i - t_{sr bez max}</math>  dla i-tego ukl. cyl.</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
0,14	1,14	1,14	0,14	5,14	8,14	2,14	9,86
0,43	0,57	4,57	0,43	4,57	7,57	1,57	10,43
1,14	0,86	8,86	0,14	3,86	6,86	0,86	11,14
1,29	0,71	13,71	0,71	3,71	6,71	0,71	11,29
1,57	1,43	18,43	1,43	3,43	6,43	0,43	11,57
1,86	1,14	28,14	3,14	3,14	6,14	0,14	11,86
2,00	2,00	30,00	3,00	3,00	6,00	0,00	12,00
2,14	1,86	32,86	3,86	2,86	5,86	0,14	12,14
2,14	1,86	35,86	3,86	2,86	5,86	0,14	12,14

Tabela 4 Różnice temperatur dla poszczególnych cylindrów  
(algorytm zmodyfikowany, wer. II)

<b>SILNIK 8 cylindrowy</b>							
<b>Różnica temp.  <math>t_i - t_{sr bez max i min}</math>  dla i-tego ukl. cyl.</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
1,50	0,50	0,50	1,50	3,50	6,50	0,50	11,50
2,17	1,17	2,83	2,17	2,83	5,83	0,17	12,17
3,00	1,00	7,00	2,00	2,00	5,00	1,00	13,00
3,17	1,17	11,83	1,17	1,83	4,83	1,17	13,17
3,50	0,50	16,50	0,50	1,50	4,50	1,50	13,50
3,83	0,83	26,17	1,17	1,17	4,17	1,83	13,83
4,00	0,00	28,00	1,00	1,00	4,00	2,00	14,00
4,17	0,17	30,83	1,83	0,83	3,83	2,17	14,17
4,17	0,17	33,83	1,83	0,83	3,83	2,17	14,17

#### 4. UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione w artykule rozwiązania techniczne mogą zostać zaimplementowane w okrętowych systemach nadzoru pracy maszynowni. Pozwoli to na znaczne podniesienie poziomu bezpieczeństwa statku i załogi maszynowej [1] oraz poprawi efektywność pracy silników okrętowych.

Autorzy materiału prowadzą aktualnie prace nad budową prototypu systemu oceny stanu technicznego zaworów rozruchowych w czasie eksploatacji.

#### LITERATURA

1. Horror Stories. Air Start Explosion On The Capetown Castle. Strona internetowa Marine Diesels (<http://www.marinediesels.info>) 2008.
2. Instructions Hyundai-B&W Engines – Operation, Maintenance, Code Book. Hyundai B&W, Ulsan 1998.
3. Listewnik J., Marcinkowski J.: Rozwój konstrukcji okrętowych wolnoobrotowych silników spalinowych. WSM, Szczecin 2000.

4. Lloyd's Register Rules and Regulations. Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships. Section 7 Starting arrangements. Chapter 7.4 Starting air pipe systems and safety fittings. LRS, July 2003.
5. Operating Instructions Hyundai-Sulzer RT-flex 96C-B. Hyundai Heavy Industries, Ulsan 2006.
6. Operational Information Air Start Explosions. Strona internetowa Marine Diesels (<http://www.marinediesels.info>), 2008.
7. Piaseczny L.: Technologia naprawy okrętowych silników spalinowych. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1992.
8. Piotrowski I., Witkowski K.: Okrętowe silniki spalinowe. Trademar, Gdynia 1996.

**Recenzent: prof. dr hab. inż. Antoni SKOĆ**  
**Politechnika Śląska GLIWICE**