

Implementacja algorytmu diagnostycznego H-G sondy pomiarowej analizatora tlenu FRT-02 do systemu DCS na bazie technologii Ethernet

Streszczenie: W publikacji omówiono budowę i zasadę działania analizatora tlenu FRT-02 firmy Thomex jako urządzenia mechatronicznego, które może być włączone do sieci komputerowej obsługi procesu DCS. Wskazano na problemy eksploatacyjne analizatorów pracujących w przemysłowych sieciach DCS. Przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych analizatora FRT-02 (sterowanego programem TransData) w postaci charakterystyk przepływowych i ciśnieniowych toru pneumatycznego o zadanych wartościach średnicy wewnętrznej D otworu przelotowego. Z otrzymanych charakterystyk wyznaczono wartości kryterialne – symptomy dla zaproponowanego algorytmu diagnostycznego H-G. Generowany na pulpicie operatora alarm zmusza obsługę do interwencji, aby nie dopuścić do utraty poprawnie działającego punktu pomiarowego. Opracowano modele matematyczne zapełnianego toru pneumatycznego w fazie przedmuchu sprężonym powietrzem.

Słowa kluczowe: zdecentralizowany system sterowania (DCS), diagnostyka analizatora tlenu, detekcja uszkodzeń.

The implementation of the H-G diagnostic algorithm of the combustion oxygen analyzer FRT-02 into the system DCS using ETHERNET technology

Summary: The paper presents a construction and working principle of the THOMEX combustion oxygen analyzer FRX-02 as a mechatronics system which can work in the computer system, attending the DCS process. The construction and exploitation problems of the analyzer working in the DCS industrial networks are also presented. The paper includes the results of the laboratory examination of the FRT-02 analyzer (controlling by the TransData program) presented in the form of the flow and pressure characteristics of the pneumatic channel with concrete diameters D , too. On this base it was setting the criterial values – the symptoms of the proposed H-G diagnostic algorithm. In the effect of the proposed algorithm it is generating the alarm which force the serviceman to take an action before losing the measurement point. The mathematical models of the ashed pneumatic channel in the blow-off faze, are also presented.

Keywords: distributed Control System, diagnostics of oxygen analyzer, fault detection.

1. Wprowadzenie

Prowadzenie procesu spalania, zwłaszcza w dużych jednostkach obiektów przemysłowych (np. energetycznych) w sposób zgodny z prawem i suboptymalnie jest możliwe tylko przy zastosowaniu układów automatycznego sterowania. Sygnały pomiarowe stężenia tlenu w spalinach w zaplanowanych punktach kontroli procesu spalania są zmiennymi procesowymi. W przypadku palenisk pyłowych i pomiarów realizowanych na wylocie z komory lub bezpośrednio w komorze spalania z tych punktów są pobierane do analizy spaliny zapyłone i wilgotne.

Na rynku dostępne są przyrządy do pomiaru stężenia tlenu w spalinach oferowane przez wielu producentów, jednak tylko nieliczne rozwiązania mogą być wykorzystane do pomiarów w spalinach silnie zapyłonych. Techniki pomiarowe stosowane w tym przypadku to:

- ekstrakcyjne z zasysaniem spalin z komory i pomiarem realizowanym na zewnątrz komory,
- „in-situ” z pomiarem realizowanym w gorącej komorze paleniskowej.

W ostatnich latach popularność zyskały tlenomierze cyrkonowe oparte na wykorzystaniu ogniwa cyrkonowego umieszczonego bezpośrednio w próbce mierzonego gazu. Pozwalają one na uzyskanie sygnału napięciowego proporcjonalnego do stężenia tlenu w badanej próbce gazowej. Z analizatorem takim musi jednak współpracować odpowiednia sonda do poboru próbki dla gazowego pomiaru ekstrakcyjnego, często z podgrzewanym filtrem, rzadziej także z podgrzewaną rurą poboru próbki z komory paleniskowej i układem zasysającym spaliny z komory. W przypadku pomiaru „in situ” sonda pomiarowa umieszczana jest w ścianie komory paleniskowej lub w układzie inżektorowym wsuniętym do komory paleniskowej i wówczas nie zachodzi konieczność stosowania układu zasysania spalin z komory paleniskowej.

Pomiar „in situ” jest trudny do realizacji w przypadku pomiaru na ścianie ekranowej kotłów pyłowych z powodu wysokiej temperatury oraz częstych problemów z żużłowaniem ich powierzchni. Sprawdzić się wtedy może układ do pomiaru ekstrakcyjnego, jednak i w tym przypadku napotyka się poważne trudności z utrzymaniem drożności układu zasysania spalin.

Problem drożności toru pomiarowego można częściowo rozwiązać poprzez:

- odpowiednią konstrukcją układu poboru spalin i komory pomiarowej z sondą cyrkonową,
- organizację (parametryzację) okresowych przedmuchów toru pomiarowego [1].

Pozostają jednak do rozwiązania ważne problemy eksploatacyjne:

- odporność systemu akwizycji danych (SAD) na przypadkowe zakłócenia procesu spalania,
- konieczność użycia palników olejowych (w czasie odstawienia i uruchomienia kotła),
- bezobsługowość punktów pomiarowych (analizatora),
- wydłużenie okresu pomiędzy kolejnymi czynnościami serwisowymi.

Intensywność procesu zapopielenia torów pomiarowych jest różna i zależy od wielu czynników. Dlatego każdy punkt pomiarowy w SAD powinien mieć możliwość wczesnego wykrywania (wskazanie miejsca) i diagnozowania (wskazanie rodzaju) usterki.

Dzięki wbudowaniu do już istniejącego oprogramowania TransData modułu softwarego „Diagnostyka” jest możliwe rozwiązanie wyżej wymienionych problemów.

Przedmiotem publikacji jest opracowanie algorytmu diagnostycznego do wczesnego wykrywania zagrożeń utraty drożności toru poboru spalin do komory pomiarowej analizatora FRT-02 pracującego w sieci urządzeń rozproszonych DCS (Distributed Control System)/Ethernet pod programem obsługi TransDataMB [2].

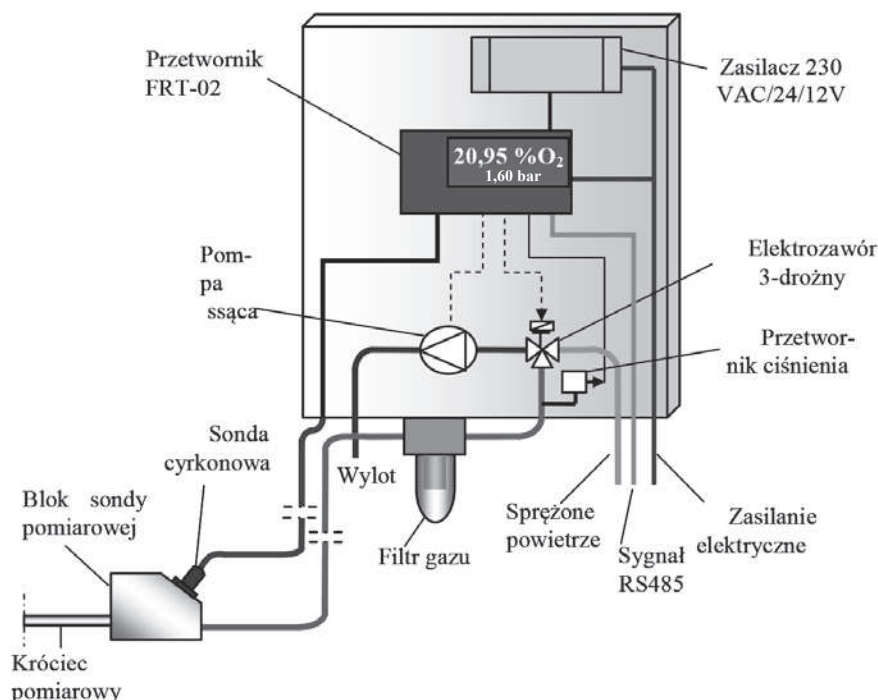
2. Analizator tlenu FRT-02

2.1. Budowa analizatora tlenu FRT-02

System kontrolno-pomiarowy pozwala na realizację ciągłych pomiarów stężenia tlenu w warstwie przyściennej kotła pyłowego z wykorzystywaniem istniejących króćców pomiarowych do badań składu spalin przy ścianach kotła. Umieszczenie czujników bezpośrednio na króćcach przy ścianach kotła pozwala na znaczne skrócenie toru zasysania spalin i skrócenie czasu pomiaru.

Na rysunku 1 pokazano widok analizatora tlenu FRT-02 opracowanego przez firmę Thomex [3].

Rys. 1. Widok analizatora FRT-02 z wyposażeniem [3]



Zasadniczym elementem analizatora FRT-02 jest karta elektroniki z wyświetlaczem alfanumerycznym, zlokalizowana w szafce analizatora. Czujnik cyrkonowy tlenu znajduje się w komorze pomiarowej poza szafką – na ścianie kotła. Sygnał pomiarowy (napięcie 30÷150 mV) jest wprowadzony na pierwszy tor pomiarowy karty elektroniki i przetworzony na standardowy sygnał analogowy 4–20 mA oraz na sygnał cyfrowy dostępny w sieci RS-485. W szafce analizatora znajduje się także przetwornik ciśnienia, z którego sygnał analogowy 4–20 mA jest wprowadzony na drugi tor pomiarowy karty elektroniki i przetworzony na sygnał cyfrowy, także dostępny w sieci RS-485.

Pomiar ciśnienia jest realizowany w przewodzie pneumatycznym toru gazowego pomiędzy elektrozaworem trójdrożnym a filtrem gazu. W szafce analizatora znajduje się ponadto pompka gazowa do zasysania spalin (do komory pomiarowej) i elektrozawór trójdrożny do przełączania strumieni gazów (spaliny, sprężone powietrze) przez króciec sondy cyrkonowej. Natomiast filtr gazu zlokalizowany został na zewnątrz szafki (łatwy serwis).

Analizatory tlenu FRT-02 mogą pracować autonomicznie. Przy pomocy dopinanej klawiatury i lokalnego wyświetlacza można skonfigurować parametry torów pomiarowych (zakres, kalibracja, linearyzacja) oraz cykl pracy (rys. 2).

Rys. 2. Konfigurowanie czasów poszczególnych faz pracy analizatora w cyklu pomiarowym



Przyjęto wstępnie, że okres poboru kolejnego wyniku pomiaru stężenia tlenu do zarejestrowania wynosi $T_p = 900$ s. Ma on zapewnić odpowiednio długi czas zasysania spalin przez analizatory oraz wymaganą drożność pneumatycznych torów pomiarowych poprzez n cyklicznych przedmuchiów sprężonym powietrzem, np. $D = 4$ s, i czas przerwy, np. $P = 140$ s.

Ze wstępnych doświadczeń wynika, że czas pomiaru (zasysania spalin) $M > 180$ s ze względu na możliwą różną dynamikę pracy torów pomiarowych zależną od miejsca osadzenia sondy pomiarowej na ścianach kotła (różne długości przewodów pneumatycznych) i musi gwarantować we wszystkich torach pomiarowych osiągnięcie stanu ustalonego przez mierzone wielkości.

Zbyt długi czas zasysania spalin skutkuje skróceniem czasu pracy układów pomiarowych (postępujące zapychanie pyłem torów pomiarowych). Liczbę cykli przedmuchi-przerwa n obliczamy z równania:

$$T_p = M + n(D+P),$$

$$n = (T_p - M)/(D + P), \text{ po podstawieniu przyjętych wartości mamy}$$

$$n = (900 - 180)/(4 + 140) = 720/144 = 5.$$

W systemie monitoringu zagrożeń korozją warstwy przyściennej kotła zachodzi konieczność użycia 20–24 analizatorów na czterech ścianach kotła. Wówczas powstaje problem budowy systemu akwizycji danych pod nadzorem oprogramowania systemowego TransDataMB. Program ten zapewnia zdalną konfigurację, rekonfigurację, synchronizację pracy analizatorów oraz rejestrację wyników pomiarów. Może również generować informacje diagnostyczne po wbudowaniu modułu z algorytmem diagnozującym stan zagrożenia utraty określonego toru pomiarowego, np. z powodu jego zapozielenia.

2.2. Diagnostyka systemu pomiarowego

Celem zastosowania układu diagnostycznego, w porównaniu z poprzednimi aplikacjami, jest uzyskanie pełnej wiedzy na temat stanu pracy analizatorów i drożności układów pomiarowych. Ma to ułatwić pracę operatorów wykorzystujących system monitoringu zagrożenia korozyjnego ścian ekranowych kotła, dając im narzędzie diagnostyki i ułatwiając podejmowanie decyzji o ewentualnych czynnościach serwisowych.

W przypadku problemu z zasilaniem elektrycznym poszczególnych analizatorów na ekranie wizualizacji systemu pomiarowego pojawi się sygnalizacja braku odczytu wartości mierzonych. W takim przypadku, odpowiednim alarmem tekstowym zasygnalizowana będzie konieczność sprawdzenia konkretnych układów pomiarowych.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że brak zasilania elektrycznego poszczególnych układów pomiarowych nie spowoduje stanu awaryjnego pozostałych pracujących układów. W momencie ponownego włączenia zasilania układy te rozpoczną normalną pracę i będą znowu widoczne w programie TransDataMB.

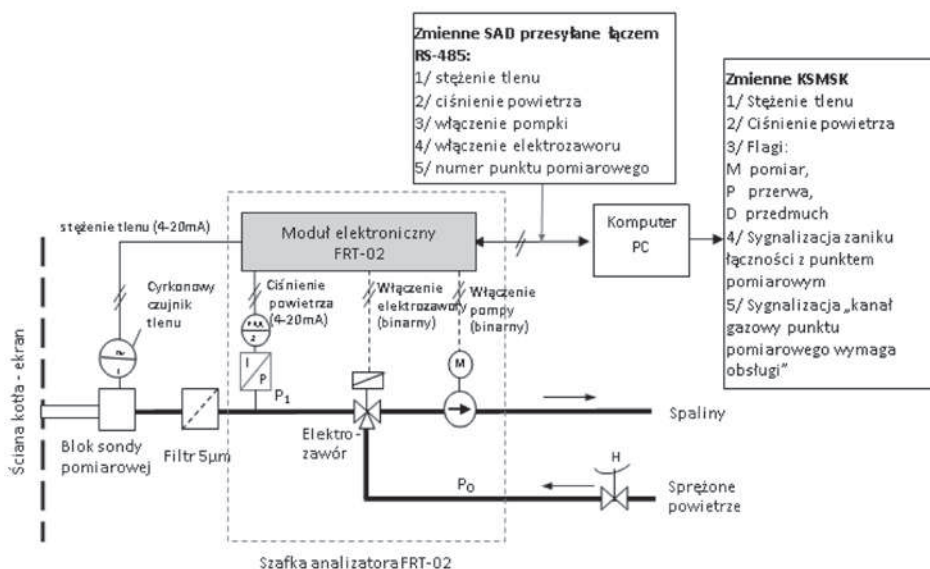
Sygnalizowane alarmem w oknie wizualizacji będą także przerwy w dopływie sprężonego powietrza do poszczególnych układów pomiarowych. Krótkie przerwy w dopływie sprężonego powietrza nie będą miały wpływu na poprawność wyników zmierzonego stężenia tlenu, lecz po kilku cyklach bezskutecznego oczyszczania toru gazowego znacznie skróci się czas bezawaryjnej pracy systemu, a niektóre króćce pomiarowe mogą zostać zapchane pyłem.

Diagnostowane są następujące parametry pracy układu pomiarowego:

- a) stopień zanieczyszczenia toru powietrze/spaliny,
- b) zanik napięcia zasilania szafki pomiarowej FRT-02,
- c) zanik ciśnienia sprężonego powietrza (zasilania),
- d) zanik komunikacji z punktem pomiarowym.

Do zebrania i przekazania informacji o pracy Systemu Akwizycji Danych SAD wykorzystuje się kanał pomiarowy nr 2 w urządzeniu FRT-02 (pomiar ciśnienia). Sygnał z pomiaru ciśnienia będzie zawierał informację o zaniku ciśnienia, drożności toru pneumatycznego, jak również o obecności napięcia zasilania. Detekcji usterek w procedurze diagnostycznej dokonuje program TransDataMB.

Rys. 3. Schemat automatyzacji punktu pomiarowego komputerowej obsługi SAD



Na rysunku 3 przedstawiono schemat automatyzacji punktu pomiarowego komputerowej obsługi SAD wraz z opisem wszystkich sygnałów.

Lista sygnałów (informacji) wyprowadzonych z szafki analizatora FRT-02:

- stężenie tlenu w spalinach – analogowy, prądowy (4–20 mA) sygnał pomiarowy;
- stężenie tlenu w spalinach – cyfrowy sygnał pomiarowy – przesyłany do systemu nadrzędnego łączem RS-485;
- ciśnienie gazu za zaworem trójdrożnym – analogowy prądowy (4–20 mA) sygnał pomiarowy, lokalny (nie jest wyprowadzany z szafki FRT-02);
- ciśnienie gazu za zaworem trójdrożnym – cyfrowy sygnał pomiarowy, przesyłany do systemu nadrzędnego łączem RS-485 w celu diagnozowania drożności toru poboru spalin do analizy;
- włączenie elektro-zaworu (przedmuch) – sygnał binarny, przesyłany łączem RS-485;
- włączenie pompki (pomiar) – sygnał binarny, przesyłany łączem RS-485.

Wykorzystano także następujące binarne sygnały wewnętrzne (widoczne na wybranych oknach funkcyjnych komputerowego systemu obsługi i nadzoru procesu pomiaru stężeń tlenu i diagnostyki podzespołów systemu pomiarowego):

1. Flagi sygnalizujące fazę cyklu pracy: M (pomiar), P (przerwa), D (przedmuch).
2. Sygnalizacja zaniku łączności z punktem pomiarowym, punkt pomiarowy podświetlany kolorem czerwonym.
3. Sygnalizacja „kanał gazowy punktu pomiarowego wymaga obsługi” – punkt pomiarowy podświetlany kolorem czerwonym w sposób pulsujący.

3. Analizatory FRT-02 w sieci DCS/Ethernet

Opracowany zdecentralizowany (rozproszony) system automatyki DCS (Distributed Control System) przedstawiony na rysunku 4, posiada następujące cechy:

- standardową i otwartą architekturę, co ułatwia elastyczną konfigurację i rozbudowę systemu,
- istnieje możliwość tworzenia systemu z wykorzystaniem aparatury od wielu producentów;
- standardy transmisji danych są odporne na zakłócenia;
- istnieje możliwość integrowania różnych urządzeń przez zastosowanie lokalnych sieci komunikacyjnych,
- istnieje możliwość zdalnej diagnostyki i telemonitoringu,
- istnieje możliwość współpracy różnych jednostek organizacyjnych poprzez Internet w celu np. prowadzenia badań długofalowych nad niezawodnością eksploatowanego systemu,
- możliwość rozbudowy funkcji systemu DCS, np. o zadania diagnostyczne.

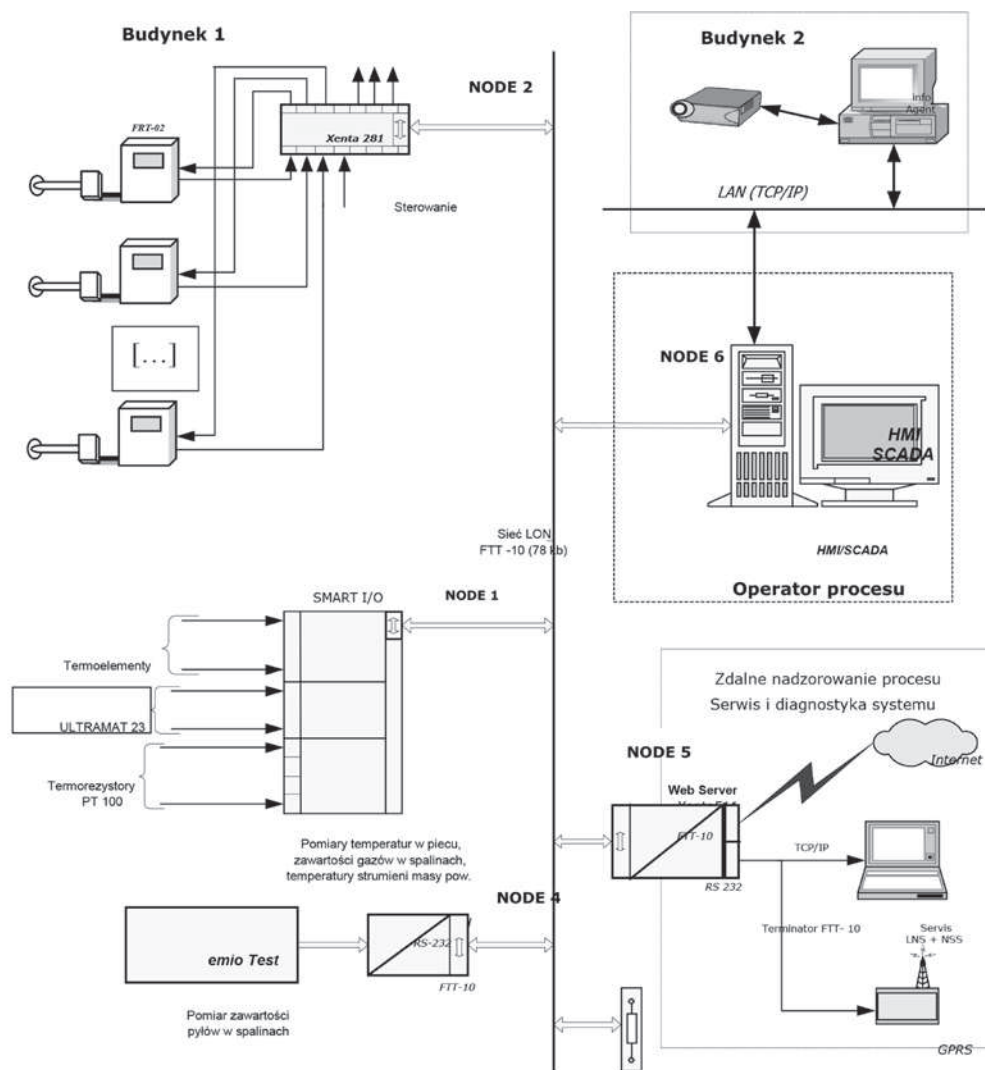
W niniejszym artykule zaproponowano rozbudowę istniejącego systemu SAD w wersji DCS o moduł diagnostyki toru poboru spalin.

System akwizycji danych pomiarowych (SAD) w określonych odstępach czasu gromadzi wyniki pomiaru i udostępnia je innym systemom komputerowej obsługi kontrolowanego procesu. Dane te mogą być wykorzystane np. do wizualizacji zagrożenia korozyjnego za pomocą oprogramowania Rachel [5, 7], bazującego na technologii „sieci neuronowych”.

We wspomnianym rozwiązaniu **cyrkonowe sondy pomiarowe** są zamontowane bezpośrednio na króćcach pomiarowych zlokalizowanych na ścianach ekranowych kotła, natomiast szafki analizatorów umiejscowione są w odległości do kilku metrów od nich.

Sygnał pomiarowy zbierany jest ze wszystkich punktów pomiarowych łączem przewodowym RS-485 i poprzez konwerter RS-485/Ethernet wprowadzony do zakładowej sieci lokalnej. Przyjęte rozwiązanie umożliwia zdalne sterowanie pracą systemu pomiarowego SAD z wybranego miejsca, np. z nastawni blokowej kotła energetycznego. Możliwy jest dostęp do gromadzonych danych w SAD/TransDataMB poprzez Internet.

Rys. 4. Architektura systemu akwizycji danych pomiarowych SAD pod kontrolą oprogramowania TransDataMB z czujnikami cyrkonowymi do kontroli stężenia tlenu w warstwie przyściennej kotła pyłowego



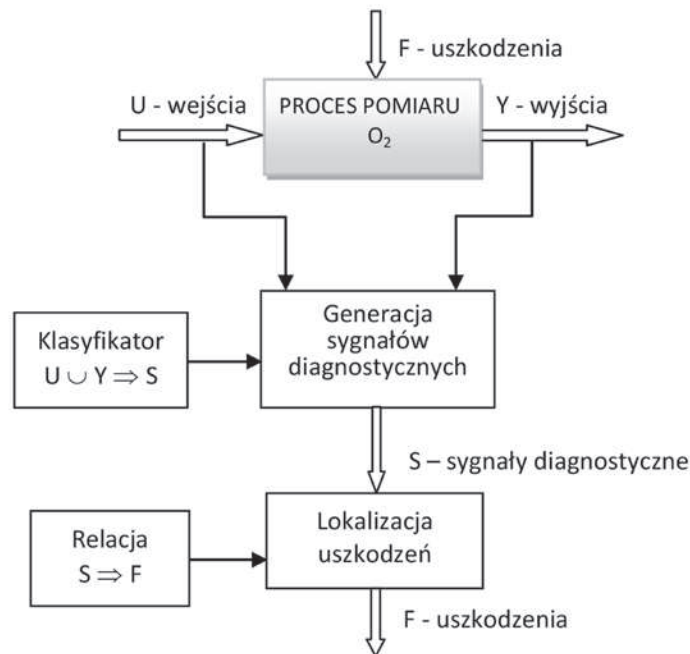
4. Diagnostyka punktów pomiarowych FRT-02 w pracującym systemie mechatronicznym CSC/SAD/TransData

Po analizie różnych możliwych rozwiązań technicznych problemu wczesnej diagnostyki utraty sprawności punktu pomiarowego [8] przyjęto:

- 1) ciśnienie powietrza za zaworem trójdrożnym, a przed filtrem za sygnał pomiarowy, na którym zostaną określone symptomy dla procedury diagnostycznej;

- 2) statyczną procedurę diagnostyczną, tj. po n -krotnym przekroczeniu ustalonej wartości ciśnienia uruchamiana jest sygnalizacja na mapie punktów pomiarowych (zagrożony punkt pomiarowy jest podświetlany migającym światłem czerwonym);
- 3) ogólny schemat blokowy algorytmu diagnostycznego ma postać jak na rysunku 5;
- 4) iż ostateczną weryfikację i korektę algorytmu oraz jego parametrów należy zrealizować w długofalowych badaniach na obiekcie rzeczywistym w czasie jego normalnej eksploatacji. Zdalny dostęp do wyników SAD (program TransDataMB) udostępnianych w Internecie zdecydowanie przyspiesza realizację procedury optymalizacji i weryfikacji algorytmu diagnostycznego.

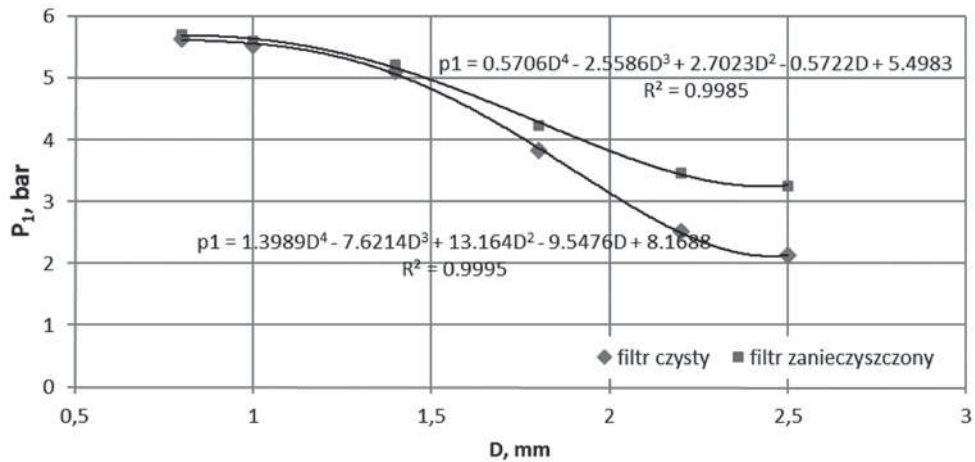
Rys. 5. Diagnostyka punktów pomiarowych (FRT-02) w systemie akwizycji danych (TransDataMB)



4.1. Badania statyczne drożności toru pneumatycznego w czasie „przedmuchu” sprężonym powietrzem

Do instalacji pneumatycznej za elektrozaworem, a przed filtrem (rys. 1 i rys. 2) podłączono przetwornik ciśnienia S-20 (0-6Bar/4-20mA f-my WIKA). Sygnał prądowy wprowadzono na wejście kanału nr 2 karty FRT-02. W badaniach drożności toru pneumatycznego w czasie „przedmuchu” przy zmiennych przekrojach toru pneumatycznego (oporach pneumatycznych) wykorzystano wskazania manometru i odczyty wyświetlacza karty FRT-02. Do badań użyto sprężonego powietrza o wartości $p_0 = 6$ bar, a wyniki badań przedstawiono na rysunku 6.

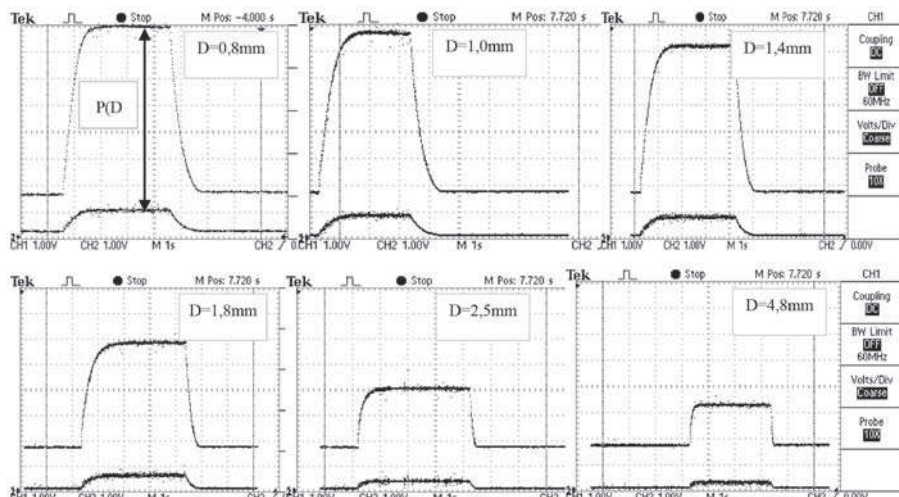
Rys. 6. Wykresy ciśnienia p_1 mierzonego za elektrozworem w zależności od średnicy otworu oporu pneumatycznego: a) filtr czysty, b) filtr zanieczyszczony. Ciśnienie na wejściu $p_0 = 6$ bar



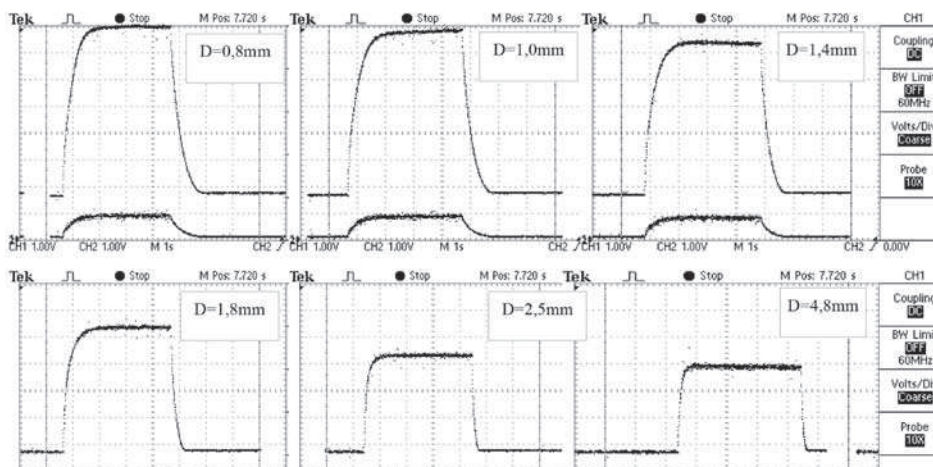
4.2. Badania dynamiczne kanału ciśnieniowego

Jako dodatkowe wykonano badania dynamiki zmian ciśnienia sprężonego powietrza za elektrozworem, a przed filtrem przy zmiennych przekrojach toru pneumatycznego (oporach pneumatycznych). Badania te przeprowadzono z użyciem oscyloskopu cyfrowego (TDS 210). Sondy pomiarowe oscyloskopu podpięto do oporu $R = 330 \Omega$ wstawionego w obwód sygnału prądowego (wyjście) przetwornika ciśnienia S-20. Wybrane wyniki badań zestawiono na rysunku 7 (dla filtra czystego) i rysunku 8 (dla filtra zanieczyszczonego).

Rys. 7. Zestawienie odpowiedzi czujnika ciśnienia S-20 w fazie „przedmuchu” dla filtra czystego (elektrozwór włączany cyklicznie na zadany w sterowniku FRT-02 czas przedmuchu 4 s)



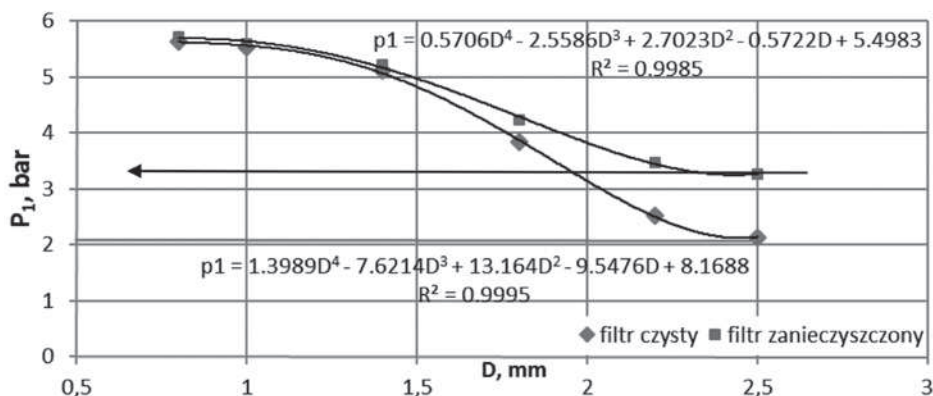
Rys. 8. Zestawienie odpowiedzi czujnika ciśnienia S-20 w fazie „przedmuchu” dla filtra zanieczyszczonego (elektrozawór włączany cyklicznie na zadany w sterowniku FRT-02 czas przedmuchu 4 s)



4.3. Diagnostyka punktu pomiarowego w SAD z użyciem programu TransDataMB

Uzyskane w badaniach laboratoryjnych modele nieparametryczne i parametryczne toru pomiarowego ciśnienia p_1 (rys. 9) posłużą do wyznaczenia cech – symptomów charakteryzujących stan techniczny punktu pomiarowego w celach wczesnego diagnozowania zagrożeń utraty wiarygodności punktu pomiarowego w systemie akwizycji danych (SAD). Poniższy rysunek jako wynik badań laboratoryjnych analizatora gazu FRT-02 (bez podłączonej sondy cyrkonowej) posłużył do wstępnego oszacowania wartości i przedziałów ciśnienia powietrza (zimnego), które przyjęte zostaną w algorytmie diagnostycznym. Stan techniczny analizatora proponuje się badać w czasie procedury „Przedmuch” sprężonym powietrzem o ciśnieniu $P_0 = 6$ bar.

Rys. 9. Charakterystyki statyczne toru diagnostycznego $P_1(D)$ dla filtra czystego i zanieczyszczonego



Modele matematyczne określone na sygnale diagnostycznym, którym jest ciśnienie sprężonego powietrza o amplitudzie $A = 6$ bar w fazie przedmuchiów sondy:

- dla filtra czystego

$$P_1(D) = 0,5706D^4 - 2,5586D^3 + 2,7023D^2 - 0,5722D + 5,4983 \quad R^2 = 0,9985,$$

- dla filtra zanieczyszczonego

$$P_1(D) = 1,3989D^4 - 7,6214D^3 + 13,164D^2 - 9,5476D + 8,1688 \quad R^2 = 0,9995.$$

Algorytmy diagnostyczne H-G

Na podstawie wyznaczonych doświadczalnie charakterystyk (rys. 9) przyjmuje się następujące zależności jako symptomy kwalifikujące stan techniczny punktu pomiarowego analizatora FRT-02, filtra gazu i toru pneumatycznego zasysania spalin:

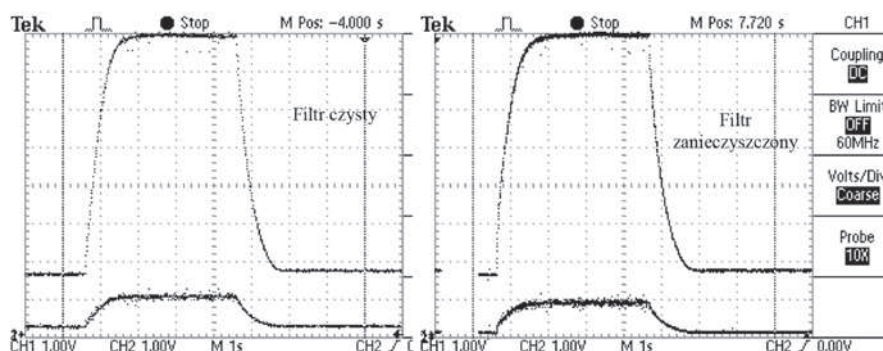
1. Jeżeli wartość $p_1 < 1$ bar, to należy sygnalizować: „Brak zasilania sprężonym powietrzem na stanowisku pomiarowym o numerze „x”;
2. Jeżeli wartość ciśnienia $4,5 > p_1 > 3$ bar, to należy sygnalizować: „Filtr gazu nr x – zanieczyszczony”,
3. Jeżeli wartość ciśnienia $p_1 \geq 4,5$ bar, to należy sygnalizować: „Tor pneumatyczny sondy nr x wymaga czyszczenia”,
4. Zanik łączności z punktem pomiarowym (brak transmisji danych pomiarowych) wskazuje na brak napięcia zasilania lub uszkodzenie łączy RS-485 lub odłączenie/uszkodzenie konwertera sygnału.

Uwaga! Spełnienie każdego z ww. warunków musi być sprawdzone n razy, gdzie n jest deklarowaną liczbą „przedmuchiów” w cyklu pracy. Jeżeli dla wszystkich n nierówność jest prawdziwa, to należy na pulpit operatora wystawić sygnalizację optyczną – punkt pomiarowy jest podświetlany migającym światłem i uruchamiany jest sygnał akustyczny oraz na ekranie pojawia się opis stanu lub czynności do wykonania przez obsługę techniczną systemu SAD.

Poniżej zestawiono porównanie wyników badań dynamicznych toru diagnostycznego dla parametrów skrajnych – średnicy wewnętrznej otworu zastępczego oporu pneumatycznego $D_{\min} = 0,8$ mm oraz $D_{\max} = 4,8$ mm dla filtra gazu czystego i zanieczyszczonego.

W pierwszym przypadku (rys. 10) niezauważalna była różnica obrazów sygnału diagnostycznego – sygnał ciśnieniowy nie może wykryć filtra zanieczyszczonego. W przypadku drugim (rys. 11) widoczne były różnice wartości amplitud ciśnień sygnału diagnostycznego – sygnał ciśnieniowy tylko dla czystych torów może wykryć filtr zanieczyszczony.

Rys. 10. Zmiany ciśnienia rejestrowanego dla wewnętrznej średnicy otworu oporu pneumatycznego $D_{min} = 0,8$ mm odpowiednio dla filtra gazu czystego i zanieczyszczonego



Rys. 11. Zmiany ciśnienia rejestrowanego dla wewnętrznej średnicy otworu oporu pneumatycznego $D_{min} = 4,8$ mm odpowiednio dla filtra gazu czystego i zanieczyszczonego



5. Wnioski

1. Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych wyciągnięto następujące wnioski:

- Badanie diagnostyczne stosowane w trybie „pomiar” – zasysanie spalin a zmiana prądu pobieranego przez pompkę – daje pożądany rezultat, ale przy bardzo małych średnicach otworu oporu pneumatycznego (poniżej 1 mm). Detekcja tak małego przekroju kanału przepływowego jest nie do przyjęcia ze względu na niebezpieczeństwo utraty punktu pomiarowego (za krótki czas na interwencję obsługi technicznej). Sygnał prądowy pobierany przez pompkę może być w przyszłości stosowany w diagnostyce, wspomagając główny tor diagnostyczny.
- Należy przyjąć wynik badania charakterystyki statycznej $p_1(D)$ jako wynik optymalny do diagnostyki aż trzech usterek: brak ciśnienia zasilania sprężonym powietrzem, zanieczyszczony filtr, utrata drożności toru pneumatycznego.
- Wydatek sprężonego powietrza przy ciśnieniu $P_0 = 6$ bar jest bardzo duży – $7\text{ m}^3/\text{h}$ – i wymaga wydajnej stacji pomp sprężonego powietrza. Należy się zastanowić, czy jest możliwe rozwiązanie tańsze, np. skracanie do minimum czasu przedmuchu (konieczne długotrwałe badania obiektowe).

- Badania dynamiczne $p_2(D)$ dla filtru czystego (rys. 10), jak również filtru zanieczyszczonego wykazały, że dynamikę toru diagnostycznego można opisać transmitancją członu inercyjnego 1-go rzędu o stałej czasowej $T = 1\div 3$ s. Nie stwierdzono zauważalnych zmian stałej czasowej od wartości oporu pneumatycznego.
 - Badania dynamiczne nie mogą być zastosowane do ekstrakcji symptomu diagnozującego stan techniczny urządzenia pomiarowego również ze względu na minimalny krok próbkowania, który obecnie w oprogramowaniu TransDataMB (przy odpytywaniu punktów pomiarowych indywidualnie) może wynosić 1 s.
 - Minimalny czas uśredniania pomiarów w kanale 1 i 2 to wartość 1 s przyjęta przez konstruktora analizatora FRT-02. Chcąc zastosować wyniki badań dynamicznych do diagnozowania stanu technicznego elementów analizatora przy użyciu kanału pomiarowego nr 2, należy nastawę czasu uśredniania w kanale nr 2 deklarować w przedziale od 0 do 2 s.
2. Znajomość aktualnego składu spalin w warstwie przyściennej kotłów pyłowych w trakcie ich eksploatacji, a w szczególności stężenia tlenu w spalinach, umożliwia rozpoznanie stopnia zagrożenia korozją wysokotemperaturową powierzchni ogrzewalnych (rur parowników) i może przyczynić się do podejmowania działań mających na celu zminimalizowanie tego zagrożenia [4, 5]. Efektem takich działań będzie wydłużenie bezawaryjnej pracy kotłów pyłowych. Systemy kontroli zagrożeń korozyjnych parowników kotłów pyłowych są wdrażane i testowane na wybranych kotłach [5, 6].

Literatura

1. Grzywa K., Hardy T., *Diagnostyka systemu akwizycji stężeń tlenu w monitoringu zagrożenia korozją ścian parownika kotła pyłowego*, „Archiwum Spalania” 2010, t. 10, nr 3/4.
2. Hardy T., *Instrukcja obsługi programu TransDataMB wykorzystywanego w systemie monitoringu stężenia tlenu w warstwie przyściennej kotła*, materiał niepublikowany, Politechnika Wrocławska, luty 2014.
3. *Instrukcja obsługi: Cyrkonowy analizator tlenu Cubix – typ FRT-02/A (Wersja sieciowa – TH2.1.0.Net)*, Firma Thomex, marzec 2014.
4. Wejkowski R., Kalisz S., Hardy T., Sarapata B., Kubiczek H., Janda T., *The control of high temperature corrosion phenomenon in boundary layer using different measurement methods*, [w:] J. Taler (red.), *Modern energy technologies, systems and units*, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2013.
5. Kakietek S., Andryjowicz Cz., Sokolik K., Maciejewski J., Hardy T., Golec T., *System kontroli zagrożeń korozyjnych ekranów parownika kotła na przykładzie kotła nr 5 w elektrowni Bełchatów*, 12th International Conference on Boiler Technology, Szczyrk 21–24.10.2014.
6. Hardy T., *System pomiaru stężenia tlenu w warstwie przyściennej kotła K1 w EC Wrocław – badania obiektowe*, Sprawozdanie PW, nr serii SPR 82/2015.
7. Kakietek S., Kowalski M., Pietrzyk M., Hardy T., *Program RACHEL jako przykład wykorzystania sieci neuronowych i algorytmów genetycznych w eksploatacji i optymalizacji pracy kotła energetycznego*, „Energetyka” 2009, nr 11.
8. Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczyk Z., Cholewa W., *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2002.
9. Kruczek S., *Kotły: konstrukcje i obliczenia*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2001.