

# WYKORZYSTANIE UKŁADÓW ZABEZPIECZAJĄCYCH I REGULACYJNYCH KOMUNIKUJĄCYCH SIĘ PRZEZ MAGISTRALĘ DANYCH W PROCESIE AUTOMATYCZNEJ REGULACJI KOTŁÓW PAROWYCH.

**Krzysztof Szalucki**

## 1. Wstęp

Automatyzacja procesu wytwarzania pary wodnej w kotłach parowych ma na celu zapewnienie poprawności realizacji procesu produkcji pary wodnej bez lub z ograniczonym udziałem człowieka oraz zapewnienie bezpiecznej pracy kotła parowego w stanach ustalonych i nieustalonych, również w przypadku występowania zakłóceń zewnętrznych. Rozwój systemów automatycznej regulacji kotłów parowych w ostatnich latach stał się bardzo dynamiczny. „Z małych kałuż powstają wielkie jeziora” - to przysłowie w sposób trafny określa zmiany obserwowane w technologii kotłowej w zakresie obecnie wdrażanych systemów automatyki. Nowe wymagania techniczne, rozwój konstrukcyjny oraz wykorzystanie transmisji danych w systemach automatycznej regulacji kotłów parowych stwarza szereg nowych możliwości, szczególnie w zakresie:

- wzrostu bezpieczeństwa pracy,
- optymalizacji sterowania procesem,
- obniżenia kosztów zakupu, montażu i obsługi układów.

## 2. Bezpieczeństwo pracy kotła parowego.

Pierwsze wrażenie, że największe zagrożenie dla bezpiecznej pracy kotła parowego stanowi nadmierny przyrost ciśnienia jest często mylne. Należy pamiętać, iż kocioł parowy przed nadmiernym przyrostem ciśnienia jest zabezpieczony dwoma systemami. Pierwszy z nich to ogranicznik bezpieczeństwa ciśnienia maksymalnego, którego zadaniem jest pewne i trwałe wyłączenie urządzenia paleniskowego realizowane przez otwarcie tzw. obwodu bezpieczeństwa palnika. Drugi to zawór bezpieczeństwa zrzucający nadwyżkę ciśnienia powstającą najczęściej na skutek awarii systemu regulacji urządzenia paleniskowego. Ciśnienie otwarcia zaworu bezpieczeństwa ustawione jest nieco powyżej wartości nastawy ogranicznika ciśnienia maksymalnego. Redundancja systemów zabezpieczenia przed nadmiernym ciśnieniem stosowana w kotle parowym oraz konstrukcyjne współczynniki bezpieczeństwa przyjmowane w procesie projektowania i budowy kotła, zapewniają bardzo wysokie bezpieczeństwo pracy urządzenia kotłowego pod kątem możliwości uszkodzenia na skutek niedopuszczalnego wzrostu ciśnienia.

Wieloletnie doświadczenia w eksploatacji kotłów parowych pokazują, że największe zagrożenie awarii i zniszczenia kotła parowego są następstwem niedopuszczalnego obniżenia poziomu wody. Odsłonięcie powierzchni ogrzewalnych na skutek niedopuszczalnego spadku poziomu wody prowadzi do przegrzania i utraty własności wytrzymałościowych ich materiału konstrukcyjnego. Przy dużych obciążeniach cieplnych powierzchni ogrzewalnych (związanych z częstym stosowaniem palników gazowych lub olejowych) zjawisko utraty własności wytrzymałościowych przez materiał konstrukcyjny przybiera na sile i prowadzi do przerwania ciągłości materiału (rysunek 1). Gorąca woda pod wysokim ciśnieniem wlewa się do przestrzeni ogniowej kotła płomienicowo-

płomieniówkowego, gdzie gwałtownie rozpręża się i odparowuje (woda o temperaturze wrzenia pod ciśnieniem 12bar rozprężając się do ciśnienia otoczenia odparowuje zwiększając ponad 300-krotnie objętość – rysunek 2). Duże ilości pary wtórnej w przestrzeni ogniowej powodują rozerwanie i wyrwanie drzwi komór nawrotnych lub ściany palnika, powstająca przy tym siła podmuchu może przesunąć kocioł lub wyrzucić jego elementy na kilkanaście metrów.



Rysunek 1. Uszkodzenie płomienicy kotła na skutek braku wody

Para wtórna w olbrzymich ilościach przedostając się do kotłowni spowoduje w krótkim czasie wzrost temperatury w budynku kotłowni do bliskiej 100°C. Stwarza to bardzo poważne zagrożenie życia pracowników obsługi.

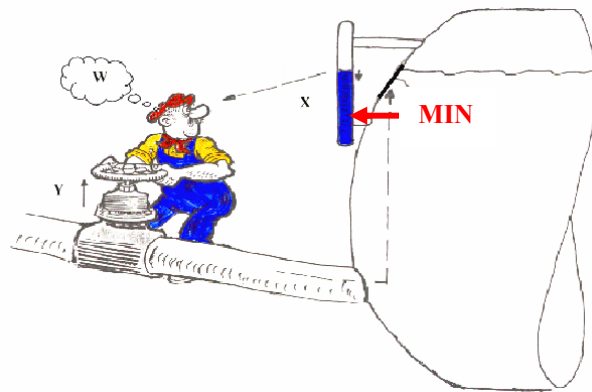


Rysunek 2. Przyrost objętości wody wrzącej pod wysokim ciśnieniem po rozprężeniu jej do ciśnienia otoczenia.

Aby nie dopuścić do uszkodzeń lub eksplozji kotłów, konieczne jest zastosowanie bezpiecznych systemów ograniczników niskiego poziomu wody w kotłach parowych.

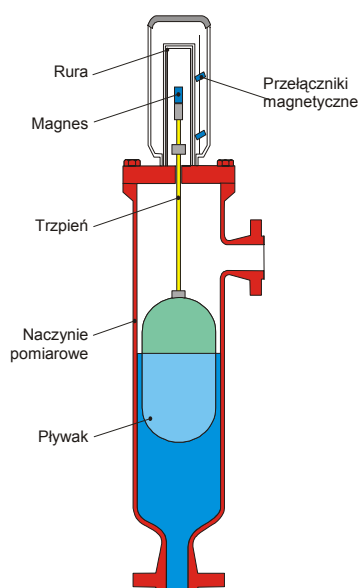
### **3. Ograniczniki bezpieczeństwa niskiego poziomu wody.**

Początkowo za niedopuszczenie do obniżenia się poziomu wody poniżej minimalnego odpowiadał operator kotła (rysunek 3), którego zadaniem była ciągła obserwacja obrazu w szkłe wodowskazowym i reagowanie na zmiany poziomu wody w kotle. Odporność operatora kotła na „zakłócenia” ze strony otoczenia nie była nadzwyczajna, wobec tego istniało duże prawdopodobieństwo uszkodzenia kotła na skutek nieuwagi obsługi.

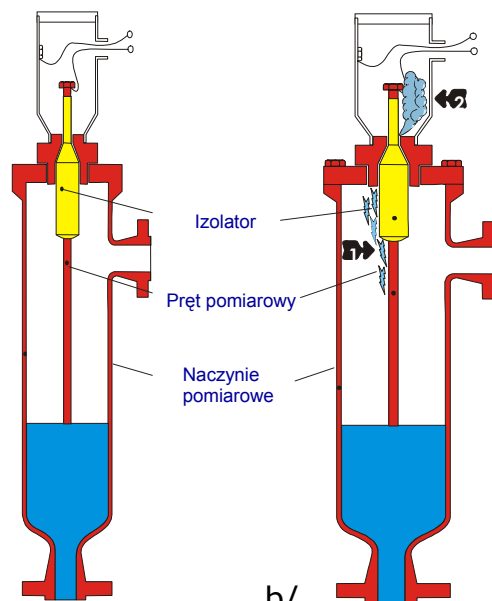


Rysunek 3. Historycznie pierwszy ogranicznik niskiego poziomu wody w kotłach parowych.

Pierwszym krokiem na drodze automatyzacji procesu zabezpieczenia kotła przed skutkami zbyt niskiego poziomu wody było wprowadzenie pływakowych ograniczników niskiego poziomu wody (rysunek 4). Wieloletnie doświadczenia eksploatacyjne pokazały, że ograniczniki te są bardzo zawodne. Często obserwowano podczas ich pracy takie zjawiska jak: zakleszczanie się pływaków, implozje pływaków, błędne działanie wyłączników magnetycznych oraz niską odporność na zanieczyszczenia komory pomiarowej.



a/



b/

Rysunek 4. Pływakowy ogranicznik niskiego poziomu wody

Rysunek 5. Prosty elektrodowy ogranicznik niskiego poziomu wody

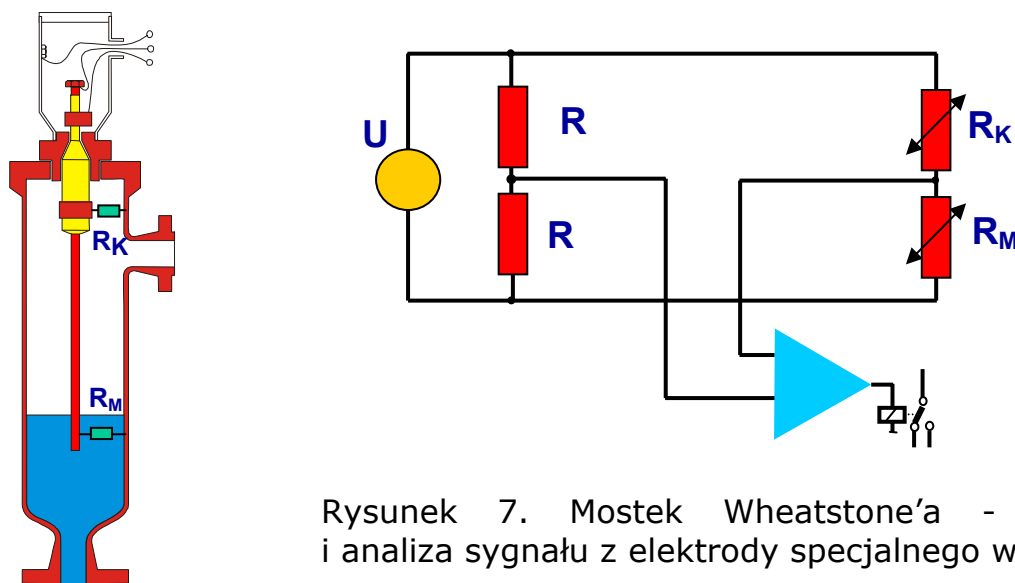
Problemy te były dla konstruktorów impulsem dla dalszych poszukiwań rozwiązania bezpiecznego ogranicznika niskiego poziomu wody. Na początku lat 60-tych ubiegłego stulecia skonstruowano i zaczęto stosować proste systemy elektrod przewodnościowych (rysunek 5a) ogranicznika niskiego poziomu wody. Ponieważ systemy elektrodowe w odróżnieniu od systemów pływakowych nie posiadają zawodnych ruchomych części mechanicznych, to udało się dzięki nim rozwiązać cały szereg problemów powstających w przypadku stosowania systemów pływakowych.

Badania przeprowadzone w Niemczech pokazały, że ilość awarii spowodowanych nieprawidłowym działaniem systemów ogranicznika niskiego poziomu wody spadła **dziesięciokrotnie** po wprowadzeniu prostych systemów elektrodowych w miejsce systemów pływakowych.

Niestety system prostych elektrod przewodnościowych również posiada słabe punkty (rysunek 5b). Podczas pracy kotła parowego w górnej części naczynia pomiarowego lub rury osłonowej, w której zainstalowana jest elektroda, następuje kondensacja pary. Tworzy się film wodny (1 na rysunku 5b), który spływa w dół również po izolatorze i przecie pomiarowym elektrody. Takie zjawisko powoduje możliwość zamknięcia obwodu elektrycznego „naczynie pomiarowe - woda - pręt pomiarowy” nawet przy braku wody w kotle na skutek zamknięcia obwodu elektrycznego przez tworzący się film wodny. Drugim niekorzystnym zjawiskiem jest przeciek na izolatorze elektrody (2 na rysunku 5b). Para w niewielkich ilościach przedostając się do głowicy elektrody kondensując i gromadząc się może zamknąć pomiarowy obwód elektryczny niezależnie od stanu wody w kotle. Wystąpienie wyżej opisanych zjawisk w przypadku wykorzystania prostych systemów elektrod przewodnościowych, może doprowadzić do uszkodzenia kotłów, na skutek nieprzerwanej pracy palnika przy braku wody w kotle.

#### 4. Ograniczniki bezpieczeństwa niskiego poziomu wody specjalnego wykonania.

Wyeliminowanie wpływu tych zjawisk stało się możliwe dzięki wprowadzeniu nowego typu elektrod przewodnościowych, które nazwano elektrodami ograniczników specjalnego wykonania (rysunek 6). Konstrukcja czujnika elektrodowego została wzbogacona o dodatkową elektrodę monitorującą, która ma na celu wykrywanie pojawiającego się filmu wodnego lub wody w głowicy elektrody zanim nastąpi niepożądane zamknięcie pomiarowego obwodu elektrycznego od strony filmu wodnego.



Rysunek 7. Mostek Wheatstone'a - detekcja i analiza sygnału z elektrody specjalnego wykonania

Rysunek 6. Elektroda ogranicznika niskiego poziomu wody specjalnego wykonania.

Zastosowanie mostka Wheatstone'a w procesie detekcji i analizy sygnału pomiarowego (rysunek 7) umożliwia wykrywanie stanów zamknięcia i otwarcia obwodów obu elektrod: pomiarowej i monitorującej. Co więcej przez porównanie oporów elektrycznych pomiędzy: elektrodą pomiarową a naczyniem pomiarowymi elektrodą monitorującą a naczyniem pomiarowym, możliwa jest analiza stanu wody w taki sposób, aby dopuszczona została praca przy istniejącym filmie wodnym pod warunkiem znacznego zanurzenia elektrody pomiarowej w wodzie (opór między elektrodą pomiarową a naczyniem pomiarowym mniejszy od oporu między elektrodą monitorującą a naczyniem pomiarowym).

Systemy elektrodowych ograniczników niskiego poziomu wody specjalnego wykonania dzięki swojej konstrukcji, stanowiły olbrzymi krok naprzód w zabezpieczeniu kotła przed niedopuszczalnie niskim poziomem wody i jego skutkami. Są one stosowane z bardzo dobrymi efektami do dnia dzisiejszego. Jednakże podczas ich wieloletniej eksploatacji zaobserwowano pojawiające się problemy ruchowe związane ze specyfiką konstrukcji tych ograniczników.

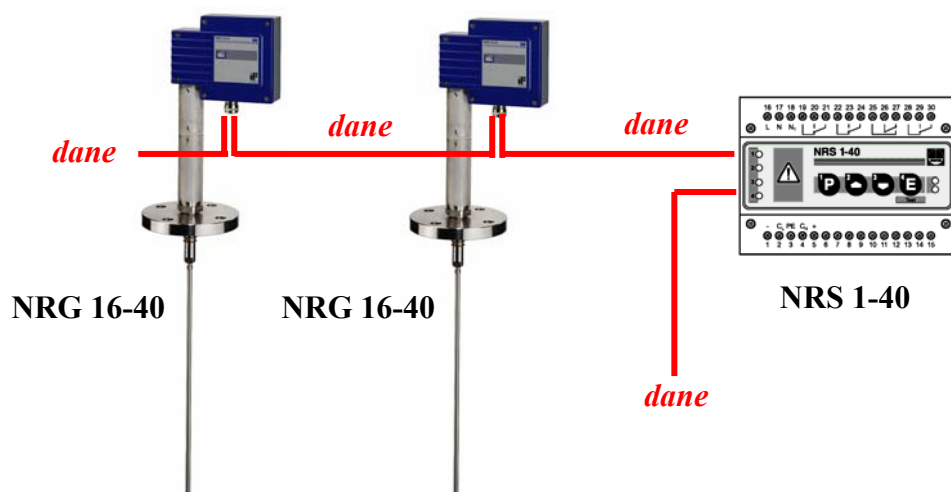
Między elektrodą zabudowaną na kotle, a przełącznikiem ogranicznika zabudowanym w szafie sterującej kotła przekazywane są sygnały niskonapięciowe o następujących wielkościach: elektroda zanurzona  $<1V$ , elektroda wynurzona  $\geq 2V$ , nieprawidłowe działania  $<2V$ . Dopuszczalna odległość między elektrodą a przełącznikiem ogranicznika może wynosić nawet 100m (GESTRA). Bardzo często kabel łączący elektrody znajduje się we wspólnym torze kablowym (korytku) z innymi kablami. Jeżeli w pobliżu kabla elektrody ogranicznika znajduje się kabel zasilający np. silnika elektrycznego, to wpływ jego zakłóceń na poprawną pracę ogranicznika poziomu będzie duży, przede wszystkim ze względu na małą odporność systemu detekcji niskonapięciowej.

Analizując inne problemy związane z ogranicznikami poziomu specjalnego wykonania zaobserwowano również przypadki zapiekania się przełączników wyjść obwodu bezpieczeństwa palnika. Jest to zjawisko bardzo niebezpieczne, ponieważ w przypadku braku wody nie zostanie otwarty obwód bezpieczeństwa palnika, czyli nie zostanie wyłączone urządzenie paleniskowe. Mając na uwadze powyżej opisane przypadki błędnego działania oraz nowe wymagania stawiane ogranicznikom niskiego poziomu przez normę EN 12953-9 (ograniczniki bezpieczeństwa kotły płomienicowo-płomieniówkowe) GESTRA wprowadziła w 1999 roku nowy typ ogranicznika niskiego poziomu specjalnego wykonania, który stanowił przełom w sposobie podejścia do automatyki kotłowej.

## **5. Ograniczniki bezpieczeństwa niskiego poziomu wody specjalnego wykonania komunikujące się przez magistralę danych.**

W nowym systemie ograniczników niskiego poziomu wody SPECTORbus wykorzystano magistralę danych CANbus dla bezpiecznego i odpornego na zakłócenia przesyłania sygnałów (w formie danych) między elektrodą pomiarową a przełącznikiem ogranicznika. W systemie tym zostały utrzymane podstawowe cechy fizyczne i mechaniczne sprawdzonych w wieloletniej praktyce eksploatacyjnej konstrukcji elektrod specjalnego wykonania. Jednak w przeciwieństwie do dotychczas stosowanej technologii każda elektroda ogranicznika niskiego poziomu została wyposażona w układ elektroniczny z nią współpracujący.

Zadaniem układu elektronicznego zabudowanego na głowicy elektrody jest przejmowanie, analizowanie i przetwarzanie sygnału pomiarowego (moduł bezpieczeństwa) oraz komunikacja z przełącznikiem ogranicznika zabudowanym w szafie sterującej kotła. W procesie komunikacji wykorzystywany jest protokół CANopen. Zastosowanie komunikacji przez magistralę danych między elektrodą, a przełącznikiem ogranicznika zapewnia najwyższy poziom pewności działania i odporności na zakłócenia zewnętrzne. Dodatkową korzyścią zastosowania takiego systemu komunikacji jest aktywne monitorowanie okablowania spełniające wymagania zawarte w EN 12953-9.



Rysunek 8. Ogranicznik bezpieczeństwa niskiego poziomu wody w kotłach parowych system SPECTORbus (2x elektroda NRG 16-40 + 1x przełącznik ogranicznika NRS 1-40)

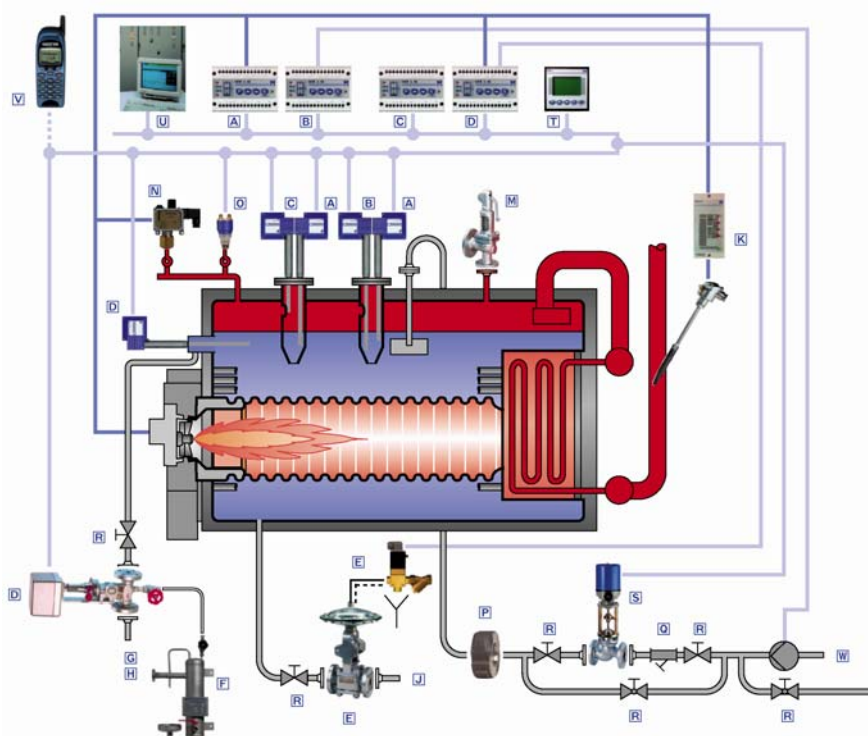
Dla wyeliminowania przypadków zapiekania się przekaźników wyjść obwodu bezpieczeństwa palnika przełącznik ogranicznika niskiego poziomu SPECTORbus (NRS 1-40) został wyposażony w 4 przekaźniki wyjść (2 podstawowe i 2 dodatkowe). Co 6 godzin wewnątrz ogranicznika przeprowadzany jest test otwarcia przekaźników podstawowych obwodu bezpieczeństwa palnika. Obwód bezpieczeństwa jest wówczas zamykany przez przekaźniki dodatkowe.

Podczas badań na certyfikację tego systemu dostrzeżony został najwyższy poziom bezpieczeństwa ogranicznika niskiego poziomu SPECTORbus. Instytucja certyfikująca wydała dopuszczenie, w którym określone jest zastosowanie na kotle parowym **dwóch** elektrod ogranicznika niskiego poziomu NRG 16-40 współpracujących z **jednym** przełącznikiem ogranicznika niskiego poziomu NRS 1-40 zabudowanym w szafie sterującej kotła (rysunek 8). Dopuszczenia wszystkich innych systemów wymagają zarówno dwóch elektrod jak i dwóch przełączników.

Koncepcja komunikacji przez magistralę danych CANbus nie musi być ograniczona tylko dla komunikacji elektroda-przełącznik ogranicznika niskiego poziomu. Tę samą magistralę można wykorzystać dla przesyłania informacji między pozostałymi czujnikami zabudowanymi na kotle i regulatorami w szafie sterującej kotła. Na tej bazie powstała rodzina urządzeń systemu automatycznej regulacji o handlowej nazwie SPECTORbus, komunikujących się przez magistralę danych CANbus.

## 6. SPECTORbus urządzenia automatycznej regulacji kotłów parowych komunikujące się przez magistralę CANbus

W nowym systemie automatycznej regulacji kotłów SPECTORbus dzięki „inteligencji” wbudowanej w sam czujnik, w każdym pojedynczym układzie czujnika pomiarowego zachodzi autonomiczny proces detekcji sygnałów pomiarowych lub nieprawidłowości w działaniu, jak również wymiana danych i komend sterujących z odpowiednim przełącznikiem lub regulatorem znajdującym się w szafie sterującej, a także komunikacja z wyższymi rangą w hierarchii systemami sterowania i regulacji – cała wymiana informacji przeprowadzana jest przy wykorzystaniu protokołu CANopen przez jeden wspólny dla całego systemu cztero żyłowy kabel magistrali danych CANbus. Dzięki tej koncepcji każdy czujnik (np. elektroda pomiaru poziomu) staje się małą niezależną jednostką w całym systemie komunikowania się przez magistralę.



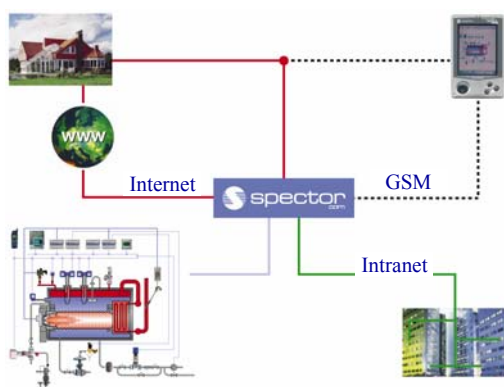
Rysunek 9. System automatycznej regulacji kotłów parowych SPECTORbus

System SPECTORbus to nie tylko zmniejszenie ilości kabli na kotle (jeden czterożyłowy kabel łączy wszystkie urządzenia na kotle i w szafie sterującej) i bezpieczne przesyłanie informacji między kotłem a szafą sterującą, to również zwiększenie ilości funkcji urządzeń regulacyjnych (mniej części składowych systemu) i niższe koszty nastaw (szybsza i prostsza procedura uruchomieniowa). Dzięki temu, że w kablu magistrali danych znajdują się wszystkie informacje o tym co dzieje się na kotle, SPECTORbus daje również niespotykane dotąd możliwości w zakresie:

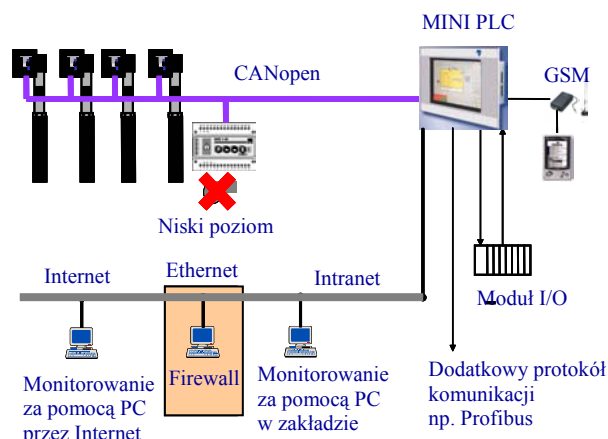
- parametryzacji zwrotnej,
- zastosowania sterowników swobodnie programowalnych (PLC),
- wpięcia się do sterujących systemów nadrzędnych (np. Profibus),
- komunikacji z urządzeniami na kotłowni przez sieci lokalne (np. zakładowy Intranet) lub światowe (Internet) czy też telefonią komórkową (GSM),
- po raz pierwszy powstaje również szansa na połączenie świata palnika i świata para/woda na kotle.

## 7. SPECTORcom – zdalne monitorowanie systemów kotłowych

Zdalne monitorowanie systemów kotłowych wyposażonych w urządzenia SPECTORbus jest realizowane w sposób niezwykle prosty (rysunek 10). Przez dołączenie do magistrali CANbus urządzenia EtherCAN (miniaturowy serwer intranetowy) możemy mieć bezpośredni dostęp do informacji na kotłowni przy wykorzystaniu wewnętrznej zakładowej sieci komputerowej. W urządzeniu EtherCAN wpisany jest program w języku HTML. Włączając typową przeglądarkę Internetową na dowolnym komputerze podłączonym do sieci zakładowej wprowadzamy adres urządzenia EtherCAN i uzyskujemy możliwość bezpośredniej obserwacji oraz parametryzacji urządzeń zainstalowanych na kotle.



Rysunek 10. SPECTORcom



Rysunek 11. SPECTORcontrol

Wprowadzając odpowiednie zabezpieczenia możemy za pomocą tego samego urządzenia również podłączyć się do Internetu i mieć dostęp do kotłowni z dowolnego komputera podłączonego do tej ogólnościwiatowej sieci. Urządzenie to również współpracuje z modemem telefonicznym (możliwość wysyłania e-mail) lub modemem telefonii cyfrowej (możliwość wysyłania SMS).

Stosując System SPECTORcom błędy występujące na kotłowni wykrywane i usuwane są we wczesnym stadium, co jest decydującym krokiem w kierunku większej niezawodności ruchowej instalacji kotłowej.

## 8. SPECTORgateway – połączenie dwóch światów

SPECTORgateway umożliwia połączenie świata regulacji palnika ze światem instalacji parowo/wodnej kotła. Małe i stosunkowo tanie urządzenie pozwala technikowi na obiekcie lub w firmie obsługowej (zdalnie) sprawdzić status **wszystkich** obszarów (palnik i para/woda) oraz jeżeli to konieczne dokonać zmian w pracy – prosto, szybko i bezpiecznie. Dzięki wewnętrznemu formatowaniu HTML systemu SPECTORgateway użytkownik jest całkowicie niezależny od specjalistycznego oprogramowania i może osiągnąć dostęp do **wszystkich** informacji z kotłowni przy pomocy normalnej przeglądarki internetowej, używając zabezpieczonego hasłem dostępu.



## **9. SPECTORcontrol – celowe monitorowanie danych z procesu**

Ze wzrostem stopnia automatyzacji systemu stały podgląd wszystkich danych, jak również ich rejestracja, stają się niezbędne. Te wymagania nowoczesnego systemu zarządzania kotłem dla kotłowni są spełnione przy wykorzystaniu SPECTORcontrol (rysunek 11). Rejestruje on i przetwarza wszystkie dane ruchowe w oparciu o PLC (swobodnie programowalny sterownik), który przez moduł I/O steruje urządzeniami regulacji (zawory regulacyjne, pompy itd.) oraz wykorzystując dodatkowy protokół komunikacji wymienia informacje z systemami regulacji wyższego rzędu. Dzięki odpowiedniej konfiguracji SPECTORcontrol może obejmować zarówno stronę para/woda, jak i stronę palnika w instalacji kotłowej. Wbudowane funkcje trendów, funkcje serwisowe oraz pamięć alarmów zapewniają wysoką wygodę obsługi kotła. Standaryzacja oprogramowania MINI PLC w SPECTORcontrol przy równoczesnej możliwości dostosowania funkcji dodatkowych zależnych od potrzeb klienta zapewnia: niską cenę systemu, najwyższe bezpieczeństwo, wysoką kompatybilność oraz jego nieograniczone możliwości.

## **10. Podsumowanie**

Wprowadzona nowa rodzina systemów automatycznej regulacji kotłów parowych SPECTOR komunikujących się przez magistralę danych typu CANbus zapewnia najwyższe bezpieczeństwo pracy kotła parowego, przy równoczesnej redukcji kosztów zakupu urządzeń i instalacji (okablowanie) w stosunku do systemu tradycyjnego. Zastosowanie magistrali danych umożliwia bardzo prostą budowę lub rozbudowę systemu SPECTORbus o komunikację lub sterowanie przez proste przedłużenie magistrali i wpięcie w nią dodatkowych elementów. Dostarczane standardowe systemy komunikacji SPECTORcom lub sterowania procesem SPECTORcontrol zapewniają wysoką jakość, bezpieczeństwo i wygodę użytkownika przy możliwie niskim poziomie cenowym.

System SPECTOR, mimo, że został wprowadzony niecałe trzy lata temu, zdobywa szerokie uznanie w zastosowaniach na całym świecie (sprzedanych kilkaset kompletów systemu), a także w Polsce (sprzedanych 6 kompletnych systemów w ciągu ostatnich miesięcy). Rosnące zainteresowanie wykorzystaniem systemu automatycznej regulacji kotłów parowych SPECTOR ze strony producentów i użytkowników kotłów potwierdza, że jego doskonałe własności i możliwości odpowiadają oczekiwaniom i potrzebom rynku.

---

Krzysztof Szałucki

tel.kom. 0-602614535    [mailto: info@szalucki.pl](mailto:info@szalucki.pl)  
[www.szalucki.pl](http://www.szalucki.pl)