

REFERAT

Wstęp

Wśród wielu nośników energii stosowanych w przemyśle, jednym z najtrudniejszych do dokładnego pomiaru ilości jest para wodna. Ponieważ para występuje jako czynnik pośredni w większości procesów produkujących energię, a także służy do bezpośredniego przekazywania energii w procesach technologicznych, dlatego umiejętność dokładnego pomiaru strumienia masy pary i mocy często jest kluczowa dla oceny sprawności, a co za tym idzie lokalizacji przyczyn ponoszonych strat.

Do niedawna główna metoda pomiarowa opierała się na instalacji zwężki w rurociągu i pomiarze spadku ciśnienia. Obliczenie strumienia masy polegało na założeniu niezmiennych parametrów pary i czysto pierwiastkowego charakteru zależności strumienia od spadku ciśnienia. Przebieg przepływu był zapisywany na rejestratorze. Bilans ilości pary uzyskiwano za pomocą planimetrowania przebiegów. Metoda ta dawała niską dokładność, była pracochłonna i podatna na błędy.

Od kilku lat zmiany zachodzące w kraju powodują ograniczenie produkcji wielu zakładów i w związku z tym częste sytuacje, gdy zachodzi potrzeba szybkiej zmiany obciążenia zakładu. Powoduje to, w konsekwencji, zmiany parametrów pary technologicznej o wartości bardzo odległe od nominalnych dla których obliczono zwężkę. Także średnice istniejących rurociągów bywają zbyt duże do aktualnych potrzeb, co również utrudnia pomiar.

W zaistniałej sytuacji szczególną wagę nabiera konieczność bilansowania masy i energii pary z uwzględnieniem zmiennych warunków termodynamicznych pary, czyli z kompensacją. Dodatkowo od 1993 roku obowiązuje nowa norma dotycząca pomiarów przepływów na zwężkach (PN-93/53950/01), która odzwierciedla najnowszy stan badań naukowych i wyklucza stosowanie poprzedniej z 1965. Wciąż jednak nie ma zbyt wielu urządzeń przeliczających strumień zgodnie z aktualną normą.

Z drugiej strony gwałtownie rośnie dostępność i popularność komputerów osobistych. Dzięki potężnej mocy obliczeniowej ich zastosowanie nie ogranicza się tylko do zadań biurowych, jak edycja tekstu, ale wykorzystywane są także do wizualizacji i sterowania procesami przemysłowymi. Typowe zestawienia i raporty z danych produkcyjnych przygotowywane są najczęściej ręcznie w arkuszach kalkulacyjnych, takich jak Microsoft Excel.

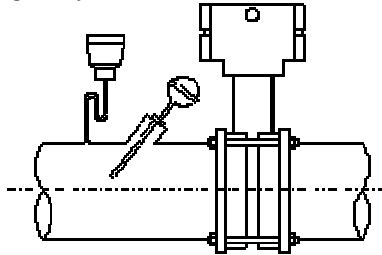
Dostępne aktualnie pakiety oprogramowania zapewniają możliwość samoczynnego uaktualniania raportów w Excelu danymi zebranymi podczas pomiarów.

Firma ABIS s.c. z Krakowa zajmuje się projektowaniem i wdrażaniem zaawansowanych komputerowych układów sterowania i regulacji. Spośród wielu rozwiązań oferowanych na rynku automatyki, wybieramy jako platformę sprzętową sterowniki General Electric Fanuc, zaś jako oprogramowanie wszechstronny pakiet dla przemysłu Factory Suite 2000 firmy Wonderware.

W odpowiedzi na coraz silniejsze zapotrzebowanie rynku na kompleksowe rozwiązanie problemu dokładnego rozliczania energii, firma ABIS przygotowała Komputerowy system bilansowania energii. Służy on do wyliczania na podstawie pomiarów, całkowitej ilości i energii pary lub wody, oraz do przygotowywania raportów komputerowych.

Zasada obliczeń

Pomimo wielu zarzutów ze strony dystrybutorów nowoczesnej aparatury pomiarowej, podstawową metodą pomiaru przepływu pozostaje zwężka znormalizowana, najczęściej w postaci kryzy ISA. Opisany system umożliwia współpracę z alternatywnymi miernikami, jak rurki spiętrzające, czy przepływomierze wirowe. Jednak, ze względu na dostępność dokładnych opracowań metrologicznych, omówiono obliczenia dla kryzy ISA.



Rys.1. Rurociąg z kryzą i przetwornikami

Przy pomiarach pary niezbędna jest znajomość ciśnienia absolutnego statycznego przed zwężką, temperatury pary i spadku ciśnienia na zwężce. Na rys. 1 pokazano typowy sposób instalacji niezbędnych przetworników w rurociągu.

Obliczenia przepływu składają się z następujących etapów:

- 1 obliczenie rzeczywistych wymiarów geometrycznych zwężki i rurociągu w warunkach roboczych,
- 1 obliczenie wykładnika izentropy (na podstawie wzoru ZUPiA Techmes),
- 1 obliczenie objętości właściwej, entalpii właściwej i lepkości dynamicznej w warunkach roboczych na podstawie tablic NBS/NRC Steam Tables. IAPS FORMULATION 1982. Zaimplementowane zależności obejmują zakres ciśnienia do 200 bar i temperatury do 800° C,
- 1 obliczenie temperatury nasycenia dla aktualnego ciśnienia,
- 1 iteracyjnego wyznaczania strumienia masy i liczby Reynoldsa, aż do osiągnięcia zadanej dokładności, zgodnie ze wzorem:

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} s_1 \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho_1}$$

- 1 obliczenie mocy pary przez wymnożenie strumienia masy przez wartość entalpii właściwej.

Powyższe obliczenia realizowane są co stały okres czasu np. 1s.

Dodatkowo wykonywane są porównania z warunkami granicznymi parametrów na:

- 1 zgodność pomiaru z normą,
- 1 bliskość krzywej nasycenia (metoda funkcjonuje jedynie dla przepływu jednofazowego),
- 1 przekroczenie technologicznych wartości alarmowych.

Następnie wartość strumienia masy i mocy jest całkowana metodą trapezów za zadany okres czasu. Standardowo oblicza się przepływy sumaryczne za godzinę, zmianę i dobę. Wyniki sum zmianowych przechowywane są w pamięci nieulotnej sterownika przez okres do 10 dni.

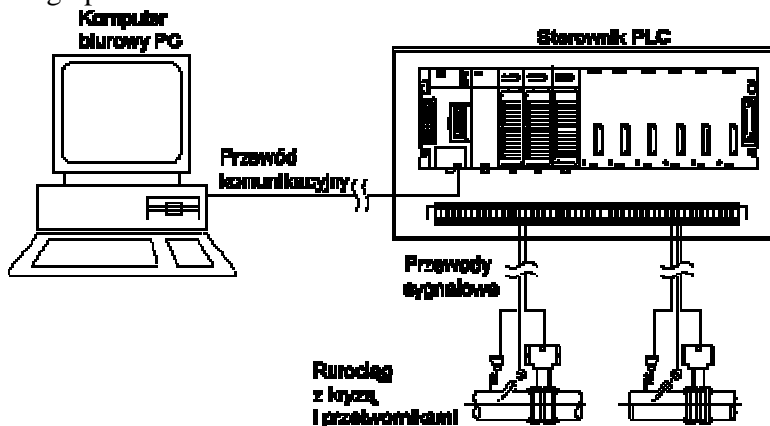
W przypadku, gdy zachodzi potrzeba uwzględnienia przepływu i energii wody np. kondensatu do całkowitego bilansu, rezygnuje się z pomiaru ciśnienia statycznego. Jego

wpływ na objętość, jak i entalpię jest znikomy, wystarczy skorzystać z ciśnienia nominalnego. Obliczenia wykonywane są analogicznie jak dla pary z wykorzystaniem faktu, że liczba ekspansji $e = 1.0$.

System umożliwia także zastąpienie znormalizowanych zwężeń, dowolnymi przeszkodami w strumieniu płynu, powodującymi mierzalny spadek ciśnienia. Warunkiem jest dysponowanie zależnością matematyczną strumienia objętości od spadku ciśnienia. Kompensacji podlega wówczas przeliczenie zmierzonego strumienia objętości na strumień masy w warunkach rzeczywistych. Przykładem mogą być rurki spiętrzające, dla których znany jest związek pierwiastkowy strumienia objętości od spadku ciśnienia w szerokim zakresie pomiarowym.

Budowa

Do systemu należy podłączyć wyjścia przetworników na sygnał prądowy 0/4-20 mA. Wprowadzone są one na zaciski listwowe a dalej na wejścia analogowe sterownika przemysłowego PLC. Przetworniki mogą być zasilane w układzie dwu i czteroprzewodowym. Właściwie nie ma ograniczenia na ilość węzłów pomiarowych, jednak przy przekroczeniu 24 pomiarów pary (72 sygnały analogowe) może ulec wydłużeniu cykl obliczeń strumienia i przekroczyć czas 1s. W przypadku gdy punkty pomiarowe są od siebie bardzo odległe, można je pogrupować i podłączyć do lokalnych koncentratorów danych połączonych ze sobą siecią przemysłową GENIUS. Sygnały analogowe przetwarzane są z rozdzielczością 13 bitów na postać cyfrową i wprowadzane do jednostki centralnej. Główny procesor CPU, oprogramowany w języku Ladder Logic, służy do wykrywania stanów alarmowych, sumowania i przechowywania wyników pośrednich. Dodatkowa jednostka obliczeniowa PCM ze skompilowanym programem w języku C realizuje właściwe obliczenia zmiennoprzecinkowe. Zastosowanie sprawdzonego w dziesiątkach tysięcy instalacji gotowego urządzenia pozwala na uniknięcie szeregu problemów związanych z konstrukcją i wdrożeniem nowego produktu.



Rys. 2. Schemat budowy typowego układu

Sterownik może być wyposażony w lokalny wyświetlacz LCD wskazujący wartości mierzone i obliczone oraz sygnalizujący stany alarmowe. Jednak pełną funkcjonalność uzyskuje się łącząc sterownik z komputerem biurowym klasy PC. Połączenie oparte jest na protokole szeregowym SNP poprzez łącze RS485. Odległość połączenia może sięgać 1100m. Komputer wyposażony jest w system operacyjny Microsoft Windows 3.11/95/NT i kartę komunikacyjną. Zainstalowane są także dwa składniki pakietu Factory Suite 2000, program wizualizacyjny InTouch i driver komunikacyjny GESNP.

Na ekranie graficznym przedstawiona jest kompletna informacja o przebiegu procesu. Liczbowo podane są wartości mierzone, kolorami sygnalizowany jest stan pomiarów, przekroczenia wartości alarmowych itp. Informacje te są także zapisywane do pliku wraz z datą i godziną wystąpienia. Wszelkie przebiegi przechowywane są w plikach historycznych na dysku. Istnieje zatem możliwość prezentacji i analizy danych dowolnie

Jednym z zadań InToucha jest przygotowanie i eksport danych do arkusza MS Excel. Raz na dobę uruchamiany jest arkusz kalkulacyjny i kolejne wartości bilansów zmianowych wprowadzane są do raportów miesięcznych. Taka organizacja przechowywania danych zapewnia, że nie ma już potrzeby dalszego kopiowania i przesyłania danych do innych programów. Przykład ekranu z fragmentem raportu miesięcznego pokazany jest na rysunku 3. Ogromne możliwości formatowania danych oferowane przez arkusz kalkulacyjny, powodują, że każdy może dowolnie ułożyć wygląd swojego raportu. Jeśli komputer jest podłączony do lokalnej sieci komputerowej istnieje możliwość łatwego dostępu do danych z komputerów innych służb.

Błędy pomiarowe

Oczywiście, jak każdy pomiar fizyczny, tak i ten realizowany przez opisywany system, obarczony jest niezerowym błędem. Głównymi składnikami błędu pomiarowego są: niepewność wprowadzana przez przetworniki pomiarowe i niepewność metody pomiarowej. Poniżej przedstawiono zestawienie istotnych składników całkowitego błędu:

- 1 niepewność wyznaczenia współczynnika przepływu i liczby ekspansji,
- 1 niepewność pomiaru średnic kryzy i rurociągu,
- 1 niepewność podstawowa przetworników,
- 1 niepewność początku zakresu przetwornika od zmian ciśnienia statycznego i temperatury roboczej,
- 1 niepewność szerokości zakresu przetwornika od zmian ciśnienia statycznego i temperatury roboczej,
- 1 niestabilność długoterminowa,
- 1 niepewność algorytmu wyznaczania parametrów fizykochemicznych medium.

Dla przykładu obliczono wpływ poszczególnych składników na błąd całkowity dla konkretnego przykładu liczbowego. Dla zwężki o wymiarach $d_{20}=100\text{mm}$ i $D_{20}=150\text{ mm}$, z przetwornikiem różnicy ciśnień 0-25kPa, przy przepływie maksymalnym 5 t/h i typowych dostępnych na rynku przetwornikach niepewność całkowita dla Q_{max} wynosi ok. 1,4%. Przy pomiarze przepływu na poziomie 20% Q_{max} błąd wzrasta do 6,4%. W tabeli 1 pokazano udziały w błędzie całkowitym dla 20% Q_{max} .

Tabela 1. Wpływ poszczególnych niepewności na błąd całkowity

błędy metody pomiarowej	0.63%
błędy określenia wymiarów kryzy i rurociągu	0.26%
błąd całkowity przetwornika różnicy ciśnień $SkD p=0.5\%$	4.74%
błąd całkowity przetwornika ciśnienia $Skp=1.0\%$	0.77%

Widać wyraźnie znaczny wpływ klasy przetwornika różnicy ciśnień, uwidacznia się on jeszcze bardziej przy niższych wartościach przepływu.

Wartość niepewności całkowitej bardzo silnie zależy od wielkości mierzonych, dlatego w prezentowanym systemie dokonywana jest ciągła analiza błędów. W efekcie oprócz

zsumowanej wartości całkowitej dostępne jest także oszacowanie procentowego błędu względnego. Dopiero pomiar wraz z podaną niepewnością może stanowić podstawę do pełnej analizy przebiegu procesu.

Zakończenie

Podsumowując, opisywany Komputerowy system bilansowania energii wyróżnia się następującymi cechami w stosunku do istniejących rozwiązań:

- 1 wysoka jakość wykonania, dzięki stosowania gotowych rozwiązań sprzętowych renomowanych firm,
- 2 duża dokładność spowodowana uwzględnieniem wielu czynników wpływających na pomiar,
- 3 wygoda w dostępie do danych - zamiast pracochłonnego spisywania wskazań, potrzebne dane samoczynnie pojawiają się w raporcie,
- 4 możliwość dowolnej rozbudowy i modyfikacji, można dodać inne pomiary lub sygnalizacje a nawet dodatkowe obwody sterowania i regulacji, a całość nadzorować programem InTouch,
- 5 współpraca z szeroką gamą układów pomiarowych dostępnych na rynku,
- 6 zakres pomiarowy zależny tylko od klasy i zakresu przetworników.

Literatura

- 1 PN-93/M-53950/01 Pomiar strumienia masy i strumienia objętości płynów za pomocą zwężek pomiarowych
- 2 NBS/NRC Steam Tables. IAPS Formulation 1982 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance of Scientific and General Use
- 3 Danikiewicz M., „Analiza niepewności pomiaru dla przepływomierzy zwężkowych do gazów”, Pomiary Automatyka Kontrola 7/1994