

Piotr OSTROWSKI

Zakład Miernictwa i Automatyki Procesów Energetycznych
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska, Gliwice

WSKAZANIE MOŻLIWOŚCI APLIKACJI TERMOANEMOMETRYCZNYCH PRZEPLYWOMIERZY STRUMIENIA MASY W SIŁOWNIACH CIEPLNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono zasadę działania termooanemometrycznych przepływomierzy strumienia masy gazów przemysłowych, powietrza i spalin. Podano ich podstawowe cechy metrologiczne, konstrukcyjne i eksploatacyjne. Wskazano obwody pomiarowo-regulacyjne w siłowniach cieplnych, w których zastosowanie przepływomierzy masowych może przynieść znaczne korzyści w efektywności działania przy obniżeniu kosztów eksploatacji.

THE APPLICATION POSSIBILITIES OF THE THERMAL MASS FLOW METERS IN HEAT POWER STATIONS

Summary. The principle of the functioning of the thermal flow meters of mass of gases, air and flue gases was presented. The basic metrological, design and exploitation features were given. The control-measurement loops in heat power stations in which the use of the mass flow meters can significantly profit in efficient functioning with parallel exploitation costs reduction were pointed out.

ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN VON DEN TERMOANEMOMETRISCHEN MASSEDURCHFLUBMESSER IN WÄRMEKRAFTWERKE

Zusammenfassung. Im Artikel das Prinzip der Wirkung von termoanemometrischen Durchflußmesser der industriellen Gase, Luft und Abgase war vorgestellt. Die Metrologische-, Konstruktions- und Betriebsgrunbezeichnungen waren gegeben. Die Meß- und Regelungskreise im Wärmekraftwerke wo die Anwendung von Massedurchflußmesser die große Wirkungsvorteile bei Betriebskostenverminderung bringen kann waren gezeigt.

1. Wstęp

W ostatnich latach daje się zauważyć wśród naukowców i praktyków ustawiczne dążenie do poprawy sprawności obiegu siłowni ciepłych, które w założeniu powinno być osiągnięte przy spełnieniu wszystkich obowiązujących i przewidywanych norm oraz przepisów w zakresie ochrony środowiska. Wydaje się, że najwłaściwszą drogą do osiągnięcia powyższego celu może być realizacja obiegów parowo-gazowych – wymagają one jednak dużych nakładów finansowych na modernizację istniejących lub budowę nowych siłowni. Innymi sposobami, szczególnie wskazanymi z uwagi na ochronę środowiska, są: modernizacja kotłów (m.in. wprowadzenie palników niskoemisyjnych, rozdział powietrza do stref spalania itp.) lub wymiana kotłów (m.in. rozpowszechnienie palenisk fluidalnych). Oprócz tych strategicznych zamierzeń nie należy jednak zaniedbywać rozwiązań z pozoru drobniejszych, lecz istotnie wpływających na elementy składowe kosztów, tj. zużycie energii na potrzeby własne, kary za zanieczyszczanie środowiska itp. Rozwiązaniem prowadzącym do powyższego celu jest m.in. zmniejszenie emisji tlenków azotu na drodze kontroli temperatury spalania, co można osiągnąć poprzez właściwy rozdział powietrza pierwotnego i wtórnego przy ciągłym pomiarze emisji spalin. Realizację tych obwodów pomiarowych i regulacyjnych umożliwi zastosowanie nowoczesnych przepływomierzy masowych czynników gazowych. Przepływomierze te mogą znaleźć zastosowanie także w innych miejscach w siłowni, na co wskazano poniżej.

2. Techniki pomiarowe strumieni gazów

Strumienie powietrza do procesu spalania oraz spalin za kotłem są indukowane wentylatorami i rozprowadzane wielkośrednicowymi rurociągami i kanałami. Zwykle nieznaczny nadmiar dyspozycyjnej różnicy ciśnień, przy poziomie ciśnień statycznych rzędu kilku kPa, dotychczas ograniczał możliwości pomiaru strumieni powietrza do metody rurek spiętrzających, umieszczanych w strefie niezapyłonej i wykorzystywanych okresowo. W zdecydowanej większości przypadków nie realizowano pomiarów strumienia pyłu węglowego czy też spalin i ograniczano się do wykonywania powyższych pomiarów w czasie rozruchu czy też okresowych testów lub kontroli. Techniki pomiarowe zwężkowe (np. zwężki Venturiego) były drogie inwestycyjnie i eksploatacyjnie i niewskazane technologicznie, głównie z uwagi na stratę ciśnienia. Ich zastosowanie było ograniczane do niezbędnego minimum. Próby z innymi przepływomierzami, np. ultradźwiękowymi czy korelacyjnymi, z uwagi na wysokie koszty zakupu rokowały wąskie zastosowanie. Wprowadzono natomiast częściowo rurki spiętrzające uśredniające typu ANUBAR, ITABAR itp., które

wymagają jednak ciągłego nadzoru eksploatacyjnego. Dodatkową wadą powyższych technik pomiarowych jest bezpośredni pomiar strumienia objętości i konieczność stosowania dodatkowych pomiarów temperatury i ciśnienia w celu określenia strumienia masy.

3. Masowe przepływomierze termooanemometryczne

Przepływomierze termooanemometryczne [1 – 3] pozwalają na bezpośredni pomiar strumienia masy $(\rho w)_i$ przepływającego gazu przez jednostkowe pole przekroju rurociągu / kanału w warunkach p oraz T . Dlatego też pełny przekrój przepływu A dzielony jest na elementarne, równe sobie pola A/n , a w środku każdego pola umieszczany jest pojedynczy czujnik sondy. Całkowity strumień masy jest obliczany z zależności:

$$m^* = \sum_{i=1}^n [(\rho w)_i] \times A/n = \sum_{i=1}^n (\rho w)_i \times A/n = \sum_{i=1}^n (\rho_u w_u)_i \times A/n \quad \text{kg/s}$$

lub

$$V_u^* = m^*/\rho_u = (3600/\rho_u) \times \sum_{i=1}^n (\rho_u w_u)_i \times A/n = 3600 \times \sum_{i=1}^n (w_u)_i \times A/n \quad \text{m}^3/\text{h}$$

gdzie:

$\rho_u w_u$ – strumień masy gazu po kalibracji czujników dla warunków umownych p_u, T_u .

Ilość punktów podziału n zależy od średnicy rurociągu, liczby (Re) i odcinków prostych przed/za przepływomierzem względem elementów deformujących profil prędkości w rurociągu (np. kolana, redukcje, zawory itp.) [4 – 6] i wynosi:

- $n_{\min} = 1$ dla warunków $L/D > 50$ lub z wstawką normującą przepływ,
- $n = 12$ dla $L/D > 6$,
- $n_{\max} \geq 16$ dla $2 < L/D < 6$.

Zasada pomiaru przepływomierzy termooanemometrycznych: Strumień ciepła unoszonego z grzanego czujnika ze strumieniem masy gazu jest kompensowany energią elektryczną dostarczaną do czujnika (anemometria stałotemperaturowa):

$$E_w^2/R_w = \alpha A(T_v - T_a)$$

przy czym

$$\alpha A = a_2 + a_2 (\rho w)^{1/m}$$

gdzie:

A – powierzchnia grzanego czujnika,

α – współczynnik wnikania ciepła,

a_1, a_2, m – stałe wyznaczone doświadczalnie,

stąd „prędkość masowa”:

$$\rho_w = \left[\frac{1}{a_2} \left(\frac{E_w}{(T_w - T_a)R_w} \right) - a_1 \right]^{1/m}$$

4. Wybrane cechy przepływomierzy termooanemometrycznych

- Przepływomierze termooanemometryczne zapewniają bezpośredni pomiar strumienia masy gazu; nie wymagają kompensacji zmian temperatury i ciśnienia.
- Przepływomierze masowe znajdują zastosowanie w pomiarach powietrza, gazów przemysłowych i spalin (także zapyłonych) w zakresie do 230°C i 1,3 MPa.
- Mogą być stosowane zarówno w rurociągach o średnicy od kilku mm, jak i kanałach o przekroju okrągłym i wielokątnym o wymiarach do kilkunastu metrów.
- Wywołują mały trwały spadek ciśnienia czynnika mierzonego (niskie straty).
- Cechują się dużą prostotą zabudowy, łatwą obsługą i niską ceną.

5. Wskazanie możliwości aplikacji

- Pomiar mieszanki pyłowo–powietrznej

Pył węglowy powstający w procesie przemiału w młynach węglowych unoszony jest w strumieniu powietrza do palników kotłowych – typowo stosuje się 4... 8 rurociągów za pojedynczym młynem. Równomierny rozdział strumieni do każdego palnika umożliwia osiągnięcie wyrównanego rozkładu ciepła w komorze paleniskowej: równomierne spalanie, brak lokalnych wzrostów temperatury i erozji dysz palnika, niezatykanie się armatury.

Obecnie stosuje się technikę odniesienia – we wszystkich rurociągach za młynem ustala się na drodze kolejnych przybliżeń takie same strumienie masy powietrza (bez pyłu węglowego) i zakłada się, że zapewnia to równość strumieni mieszanki pyłowej w tych rurociągach. Pomiar strumieni objętości realizowane są przy użyciu rurek spiętrzających, a ich wyniki wymagają

pracochłonnych przeliczeń w celu uwzględnienia gęstości powietrza (dodatkowe pomiary temperatury i ciśnienia).

Zastosowanie przenośnych sond przepływomierzy masowych nie tylko upraszcza znacznie ten proces, ale pozwala również zrealizować pomiar rzeczywistego strumienia mieszanki pyłowo-powietrznej po uruchomieniu młyna (konwekcja wzrasta ok. 70%). Pozostawienie sond w rurociągach umożliwia bieżącą kontrolę strumieni pyłu w czasie eksploatacji.

■ Pomiar strumienia powietrza do młynów węglowych.

Niewłaściwy strumień powietrza do młynów węglowych i jego temperatura powoduje szereg perturbacji w pracy młyna i kotła:

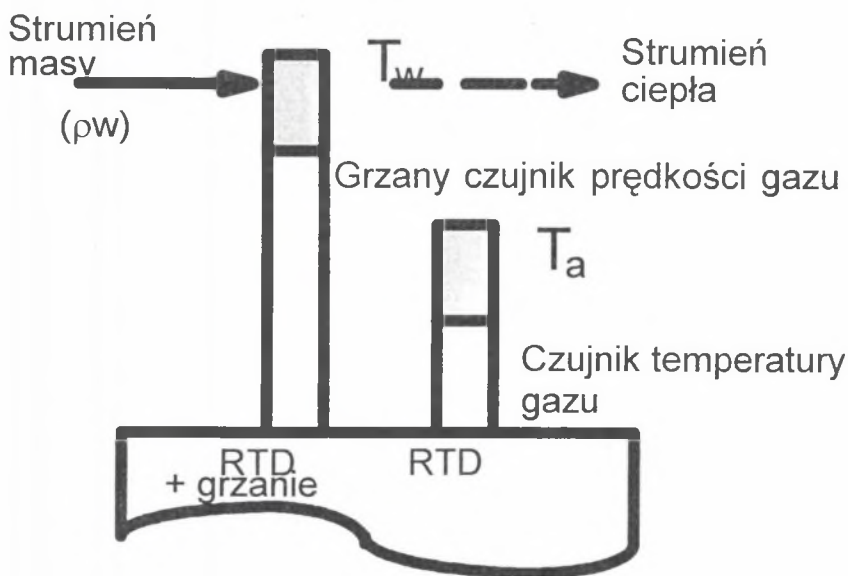
- zbyt duża prędkość wywołuje:
 - wzmożoną erozję, niestabilne spalanie i „za długi” płomień,
 - porywanie grubych frakcji a tym samym „wolniejsze” i mniej efektywne spalanie oraz tworzenie się żużla,
 - wzrost ciśnienia zwiększa zagrożenie przepływem najdrobniejszych frakcji do łożysk młyna,
- zbyt mała prędkość wywołuje:
 - zmniejszenie unoszenia pyłu z młyna,
 - opadanie pyłu w rurociągach.

Zwykle do pomiaru stosuje się zwężki Venturiego, które wprowadzają stałą stratę ciśnienia rzędu 500 do 700 Pa, wymagają korekcji gęstości z uwagi na zmiany temperatury oraz długich odcinków prostych, stosowane ostatnio rurki spiętrzające wymagają również korekcji gęstości, a ponadto są czułe na gradienty temperatur (występujące przy niepełnym wymieszaniu strumieni na krótkich odcinkach). Przepływomierze masowe mierzą bezpośrednio strumień masy gazu bez względu na zmianę prędkości gazu w zakresie: od 0,1 do ok. 60 m_n/s w warunkach umownych.

■ Pomiar (i dalej rozdział) strumieni masy powietrza pierwotnego i wtórnego:

- Pomiar strumieni powietrza umożliwia prostą realizację regulacji kaskadowej stosunku nadmiaru powietrza przez wprowadzenie lokalnego sprzężenia zwrotnego w torze nastawiania strumienia powietrza i na tej drodze uzyskania oszczędności paliwa.
- Jedną z metod redukcji tlenków azotu i udziału węgla w popiołach lotnych powstających w procesie spalania jest właściwy rozdział powietrza: pierwotnego i wtórnego (i dalsze rozdziały), a także skierowanie strumieni powietrza wtórnego w odpowiednie sektory komory paleniskowej.
- Dodatkową korzyścią jest fakt uzyskania dużych oszczędności mocy elektrycznej koniecznej do napędu wentylatorów, bowiem stosowane dotychczas w tych obwodach zwężki Venturiego wprowadzały trwałą stratę ciśnienia.

- Wprowadzone uregulowania prawne z zakresu ochrony środowiska określają limity emisji gazów toksycznych SO_2 , NO_x , CO oraz pyłów w okresach sprawozdawczych. Pomiary stężeń gazów i pyłów wymagają uzupełnienia o pomiar strumienia masy spalin w emitorach. Dotychczas z uwagi na brak odpowiedniej metody pomiarowej stosowano najczęściej metodę bilansową wyznaczania strumienia masy spalin. Pomiar termooanemometrem wieloczujnikowym w kominie pozwala wyznaczyć strumień już na wysokości ok. 3D powyżej połączenia z kanałem spalinowym.
- Zapewnienie stałości próżni w skraplaczach przy zmiennych obciążeniach bloku jest bardzo istotne. Zastosowanie przepływomierzy masowych w układach ze wspomaganie pompą próżniową pozwala w sposób ciągły kontrolować „przecieki” powietrza w skraplaczach.



Rys. 1. Czujnik przepływomierza masowego

Fig. 1. Flow meter sensor

6. Podsumowanie

Termooanemometryczne przepływomierze masowe są tanimi przetwornikami pomiarowymi, które mogą znaleźć zastosowanie w wielu miejscach w siłowniach cieplnych, zastępując dotychczas stosowane przepływomierze

oparte na pomiarze różnicy ciśnień, a nawet umożliwiając realizację układów pomiarowo–regulacyjnych, które dotychczas nie były stosowane w praktyce eksploatacyjnej.

Literatura

1. Reducing Cost of Ownership with Thermal Mass Flow Meters, SIERRA INSTRUMENTS INC., Monterey, USA.
2. Brooks Digital (TMF) Mass Flow Meters and Mass Flow Controllers, BROOKS INSTRUMENTS B.V., The Netherlands 1994.
3. Mass Flow and Pressure Metters/Controllers, BRONKHORST HI-TEC, The Netherlands, 1991.
4. Olin J.G.: Flow Monitors for Continous Emissions Monitoring System (CEMS) – the Effect of non-uniform flows, Electric Power Research Institute, Birmingham, Alabama USA, 1992.
5. Olin J.G.: An Engineering Tutorial: Thermal Mass Flow Meters, INTECH Engineers Notebook, 1993.
6. Teijema J.: Accurate Flow Measurements in Industrial pipe cofigurations by applying an industrial pipe reducer, FLOMEKO'94, Delft Hydraulics, The Netherlands, 1994.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Edward Kostowski

Wpłynęło do Redakcji: 10. 10. 1996 r.

Abstract

The principle of the functioning of the of the thermal flow meters of mass of industrial gases, air and flue gases was presented. The basic metrological, design and exploitation features were given. The control-measurement loops in heat power stations in which the use of the mass flow meters can significantly profit in efficient functioning with parallel exploitation costs reduction were pointed out, i.g. among others the measurements of the dust-air mixture mass flow, the air flow to coal-dust mills, the primary and secondary air flows (and distribution), the flue gases mass flow in stacks, the vacuum control in condensers.