

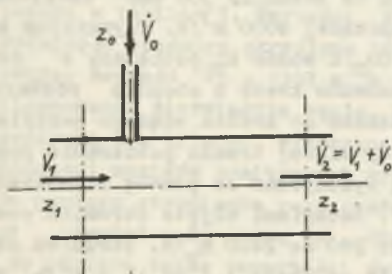
Ryszard Petela  
Instytut Techniki Ciepłej

Longin Wilamowski  
Kopalnia Sosnowiec

#### POMIAR STRUMIENIA GAZU METODĄ SZCZEPIENIA

**Streszczenie:** Omówiono metodę pomiaru strumienia gazu za pomocą szczepienia oraz podano wyniki tej metody zastosowanej do pomiaru strumienia gazu czadnicowego.

W praktyce zdarza się niekiedy, że za pomocą podstawowych metod trudno jest zmierzyć strumień gazu przepływającego przewodem. Przypadek taki zachodzić może na przykład przy pomiarze strumienia gazu wypływającego z czadnicy. Często zdarza się bowiem, że odcinek przewodu gazowego łączącego czadnicę z kolektorem gromadzącym gaz również z innych czadnic, jest bardzo krótki, wyposażony w elementy armatury zakłócającej równomierny przepływ, co dodatkowo przy wysokiej temperaturze gazu oraz dużym stopniu jego zanieczyszczenia sprawia, że określenie strumienia gazu przez pomiar jest bardzo trudne. Trudności pomiaru strumienia czynnika występują również przy przepływie pulsującym spowodowanym na przykład przez działanie maszyny tłokowej. Można wówczas proponować metodę zwaną krótko szczepieniem strugi. Polega ona na tym, że do mierzonej strugi gazu wprowadza się określony strumień  $\dot{V}_0$  czynnika (rys. 1), który w danej temperaturze nie rozkłada się i nie oddziałuje chemicznie ze składnikami badanej strugi ani też ze ściankami rurociągu. Czynniki takie powinien być również łatwo wykrywalny i niedrogi. Takim obojętnym czynnikiem (szczepiającym) może być na przykład  $N_2, CO_2, H_2O, H_2, SO_2, NH_3$ , lub ich mieszanina.



Rys. 1. Schemat szczepienia

Dla określenia mierzonej wielkości strumienia gazu  $\dot{V}_1$  należy znać zawartość (np. udział molowy) składnika użytego do szczepienia w strudze szczepiącej ( $z_0$ ), w strudze przed szczepieniem ( $z_1$ ) oraz w strudze zaszczeplonej ( $z_2$ ). Oczywiście najlepiej jest zorganizować pomiar tak, aby  $z_0 = 1$ . Szukaną wartość  $\dot{V}_1$  otrzymuje się ze wzoru wyprowadzonego z równania bilansu czynnika szczepiącego

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_0 \frac{z_0 - z_2}{z_2 - z_1} \quad (1)$$

Przy szczepieniu parą (np. wodną) dogodniej jest posługiwać się wzorem

$$\dot{V}_1 = \frac{\dot{G}}{\phi_2 - \phi_1} \quad (2)$$

gdzie:

$\dot{G}$  - gramowy strumień pary,  
 $\phi_1, \phi_2$  - wilgotność badanej strugi tazu przed i po szczepieniu, np. w g H<sub>2</sub>O / (m<sub>n</sub><sup>3</sup> gazu suchego).

We wzorze (2) wielkość  $\dot{V}_1$  oznacza objętościowy strumień gazu suchego. Miejsce wtryskiwania szczepionki dobiera się tak, aby dla wymieszania szczepionki z gazem wykorzystać istniejące zaburzenie przepływu spowodowane przez zmianę kierunku strugi, pola przekroju itp. Gaz szczepiący powinno się wstrzykiwać wieloma strugami wykorzystując do tego celu odpowiednią sondę z wieloma otworami wylotowymi rozprowadzającymi szczepionkę na całym przekroju przewodu. Próbkę gazu zaszczepionego pobiera się do analizy za pomocą również takiej sondy wielowlotowej. Dla lepszego wymieszania na krótkim odcinku przewodu celowe jest umieszczanie w przewodzie specjalnych zawirywaczy. Warto też dodać, że dobre wymieszanie jest uwarunkowane intensywną dyfuzją, która zgodnie z kinetyczną teorią budowy materii jest tym większa im wyższą temperaturę, niższe zaś ciśnienie mają mieszające się gazy.

Metoda pomiaru strumienia gazu za pomocą szczepienia jest już dość dawno znana [1], [2], [3], [4]. W pracy niniejszej przedstawiono w skrócie wyniki zastosowania tej metody do pomiaru strumienia gazu czadnicowego [5], [6].

Przedtem jednak sprawdzono skuteczność tej metody i dokonano ogólnej oceny opartej na wynikach próbnych pomiarów strumienia powietrza porównanych z wynikami pomiarów tego strumienia za pomocą normalnej krezu pomiarowej [5]. Użyto specjalnej instalacji pomiarowej, która składała się z prostego odcinka (o długości 12 m) rurociągu (o średnicy 300 mm) zasilanego wentylatorem o wydajności nominalnej wynoszącej 4000 m<sup>3</sup>/h. Czynnikiem szczepiącym był oddzielnie dwutlenek węgla CO<sub>2</sub> i wodór H<sub>2</sub> pobierany z odpowiedniej butli wysokociśnieniowej. Zastosowano krezę o stopniu rozwarcia 0,675 i 0,2. Czynniki szczepiący wprowadzano do króćca ssącego wentylatora przez okres około 1 minuty i tyle mniej więcej trwało pobieranie próbek szczepionego powietrza do analizy, którą wykonywano za pomocą rozszerzonego analizatora typu Wilhelmi (Barbara I). Badaniem objęto strumień powietrza zmieniający się w granicach od około 200 do 2400 m<sup>3</sup>/h. Strumień czynnika szczepiającego mieścił się w zakresie od około 1,4 do 16,9 m<sup>3</sup>/h. W wyniku analizy błędów pomiarowych uzyskano wartość na średni kwadratowy błąd względny wynoszącą 1,026% przy pomiarze krezą oraz wartość 0,499% przy szczepieniu. Nie stwierdzono istotnych różnic między wynikami szczepienia wodorem i dwutlenkiem węgla. Wykazano, że minimalny strumień czynnika

szczepiącego zależy tylko od dokładności, z jaką można dokonać analizy gazu. Konieczny strumień wprowadzanej szczepionki zależy więc od przyjętej wartości dopuszczalnego błędu wyniku analizy gazu przy danym błędzie maksymalnym analizatora. Nadmierne zwiększanie stężenia czynnika szczepiącego w mierzonym gazie nie polepsza dokładności pomiaru. W badanym przypadku stwierdzono ostatecznie, że nawet przy najostrożniejszym szacowaniu dokładności metody szczepienia daje ona wyniki o dokładności tego samego rzędu co pomiar za pomocą normalnej kreyzy.

W pracy [5] zastosowano szczepienie do pomiaru strumienia gazu czadnicowego wytwarzanego w czadnicy jednoobiorowej zasilanej koksem. Gaz czadnicowy był odprowadzany do spalania głównie w pionowej muflie służącej do ciągłego otrzymywania cynku. Czynnikiem podmuchowym w czadnicy było nawilżone powietrze. Gaz czadnicowy opuszczający szyb czadnicy przepływał przez cyklon odpylający, komorę zbiorczą i izolowanym rurociągiem dopływał do komory rozdzielczej, skąd dwoma równoległymi przewodami prostokątnymi przepływał do komory spalania. Bezpośrednio za komorą zbiorczą z głównego przewodu gazowego był wyprowadzony przewód do zasilania pieca koksowego. Łączna ilość gazu wytwarzanego w czadnicy rozdzielała się więc na trzy strumienie, z których każdy był mierzony osobno.

Czynnikiem szczepiącym był dwutlenek węgla. Do strumienia gazu czadnicowego zasilającego pionową muflę wstrzykiwano  $\text{CO}_2$  przez ściankę pionowego odcinka przewodów prostokątnych tuż nad komorą rozdzielczą. Zaszczepiony gaz przepływał odcinkiem pionowym o długości 3 m, następnie przez kolano oraz odcinkiem poziomym o długości 4 m do miejsca, w którym pobierano próbkę gazu do analizy. Na trasie takiej wymieszanie gazu ze szczepionką było dobre. Również gaz zasilający piec koksowy mieszał się dobrze ze szczepionką. Wstrzykiwanie  $\text{CO}_2$  i pobór próbek gazu do analizy odbywało się osobno dla każdej z trzech strug, za pomocą sond o wielu otworkach. Szczepiony gaz czadnicowy miał temperaturę około  $200^\circ\text{C}$ .

Dane dotyczące szczepienia wszystkich trzech strumieni gazu czadnicowego podano w tablicy 1. Wartości  $\dot{V}_{11}$  obliczano ze wzoru (1).

Wydażność czadnicy określono również na podstawie bilansu substancji o trzymując wartość  $\dot{V}_1 = 1347 \text{ m}_n^3/\text{h}$  z bilansu azotu oraz wartość  $\dot{V}_1 = 1351 \text{ m}_n^3/\text{h}$  z bilansowania pierwiastka węgla. Rozbieżność wyników uzyskanych przy szczepieniu i z bilansu, wynosząca około 5%, jest konsekwencją głównie niedokładności wyników pomiarowych wykorzystywanych w bilansie substancji.

Do pomiaru strumienia gazu czadnicowego stosowano jako czynnik szczepiący również parę wodną [6]. Odpowiednią instalację wykorzystano przy tym do pomiaru także zawartości smoły i pyłu w gazie czadnicowym. Zasadę pomiaru tych wielkości przedstawia schematycznie rys. 2. W obu punktach pomiarowych 1 i 2 pobiera się próbkę gazu czadnicowego zasysaną za pomocą smoczka, przeciągając ją przez zespół naczynek F chłodzących i filtrujących gaz, przez zespół naczynek W pochłaniających wilgoć oraz przez gazomierz G. Między tymi punktami wprowadza się do gazu czadnicowego określony strumień  $\dot{G}$  szczepiącej pary wodnej. Ze-

społy W waży się przed i po pomiarze, zespoły F zaś waży się ponadto po wysuszeniu (po pomiarze).

Tablica 1

Dane dotyczące pomiaru strumienia gazu przy użyciu  $\text{CO}_2$  jako szczepionki

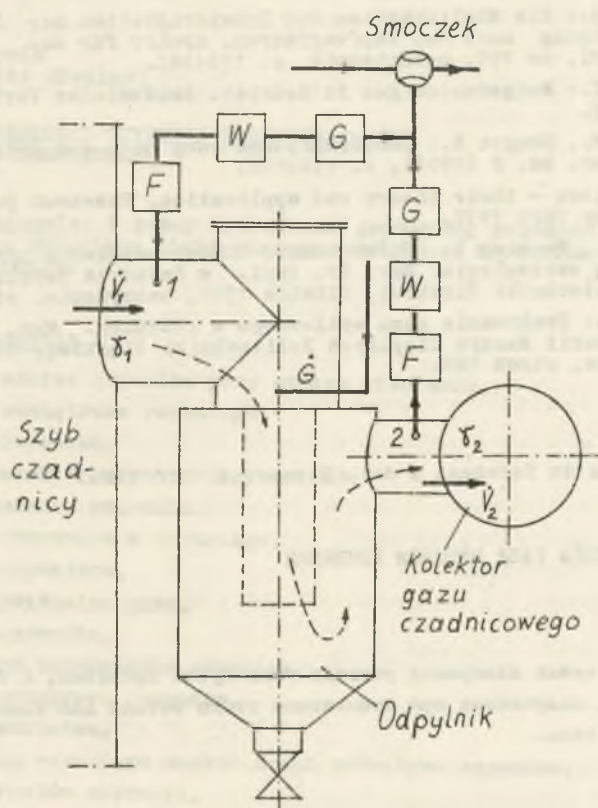
Gaz zasilający	Mufłę pionową		Piec koksowy
Numer strumienia	1	2	3
$z_0 \frac{\text{kmol CO}_2}{\text{kmol g.s.}}$	0,98	0,98	0,98
$z_1$ - " -	0,0392	0,0392	0,0392
$z_2$ - " -	0,0507	0,0503	0,0852
$\dot{V}_0 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$	6,976	6,976	6,976
$\dot{V}_{11}$ - " -	564,5	585,0	136,1
$\dot{V}_1 = \sum \dot{V}_{11}$		1285,6	

Różnica ciężaru zespołu W otrzymana w wyniku ważenia drugiego i pierwszego, powiększona o różnicę ciężaru zespołu F otrzymaną przez ważenie drugie i trzecie, odniesiona do wskazania gazomierza, pozwala wyznaczyć wilgoć  $\phi$  próbki zasysanego gazu czadnicowego. Różnica ciężaru zespołu F otrzymana w wyniku ważenia trzeciego i pierwszego pozwala określić łączną zawartość pyłu i smoły w próbce. Jeżeli przyjmie się, że odpylnik prawie całkowicie oczyszcza gaz czadnicowy z pyłu, to różnica ta w punkcie 2 wyznacza zawartość tylko smoły w próbce. Przyjmując następnie tę samą zawartość smoły w próbce zasysanej w punkcie 1, można z takiej różnicy dla punktu 1 wyznaczyć przybliżoną zawartość pyłu w gazie.

Do pomiaru strumienia gazu czadnicowego zastosowano w omawianym przypadku szczepiaczy strumień pary wodnej  $\dot{G} = 60,5 \text{ kg/h}$ . Wilgoć szczepionego gazu z wartości  $\phi_1 = 150 \text{ g/m}_n^3$  wzrosła do  $\phi_2 = 255 \text{ g/m}_n^3$ . Ze wzoru (2) obliczony strumień gazu czadnicowego wynosi  $\dot{V}_1 = 576 \text{ m}_n^3/\text{h}$ .

Wydajność czadnicy określono również na podstawie bilansów najważniejszych pierwiastków. Wyniki podano w tablicy 2. Najbardziej wiarygodne wydają się być wyniki uzyskane z bilansu węgla i azotu, od których jak wiadomo wynik uzyskany za pomocą szczepienia niezbyt odbiega.

Za równy współudział w niniejszej pracy autorzy pragną wyrazić serdeczne podziękowanie zmarłemu tragicznie Koledze Mgr. Inż. Stanisławowi Kosiakowi.



Rys. 2. Szczepienie gazu czadnicowego

Tablica 2

Wyniki pomiaru strumienia gazu czadnicowego

Sposób określenia	$\dot{V}_1$ m <sup>3</sup> /h
Szczepienie parą wodną	575
Bilans pierwiastka: węgla	590
wodoru	542
tlenu	558
azotu	600

## LITERATURA

- [1] Neumann G.: Die Möglichkeiten und Schwierigkeiten der Luft und Gas-mengenmessung nach dem Impferfahren. Archiv für das Eisenhüttenwesen 1935, nr 155, październik, s. 179-183.
- [2] Krönert I.: Mengenmessungen in Betrieb. Akademische Verlagsgesellschaft Lips 1955.
- [3] Siebert W., Hengst K.: Gasdurchflusmessung nach dem Impferfahren. Regel. Techn. Bd. 2 (1954), s. 154-156.
- [4] Fluid Meters - their theory and application. Research publication IV, ASME, Nowy York 1937.
- [5] Kosiak S., Krowiak L. (Wilamowski): Pomiar natężenia przepływu gazów za pomocą szczepienia. Mgr. Pr. Dypl. w Katedrze Teorii Maszyn Ciepłych Politechniki Śląskiej, Gliwice 1956, maszynopis, stron 182.
- [6] Petela R.: Krakowanie gazu wytłewnego w czadnicy. Mgr. Pr. Dypl. w Katedrze Teorii Maszyn Ciepłych Politechniki Śląskiej, Gliwice 1956, maszynopis, stron 169.

Praca wpłynęła do Redakcji w dniu 7 czerwca 1974 roku.

## ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ГАЗА МЕТОДОМ ПРИВИВКИ

## Р е з ю м е

Рассмотрен метод измерения расхода газа путем прививки, а также приведены результаты, полученные при применении этого метода для измерения расхода генераторного газа.

## MEASUREMENT OF A GAS FLUX BY MEANS OF VACCINATION

## S u m m a r y

Measuring method of gas flux by means of vaccination has been discussed and the results of this method applied to the producer gas flux measuring have been given.