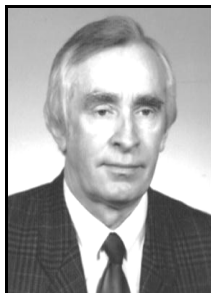


**Zdzisław KABZA, Tadeusz HUDYMA**  
EMIO PIW WROCLAW

## Zwężka cylindryczna w pyłomierzu

Prof. dr hab. inż. Zdzisław KABZA

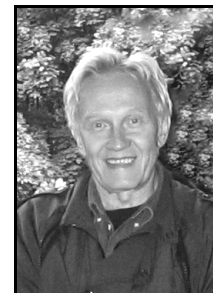
Absolwent i docent Politechniki Wrocławskiej. Od 1978 r. w Opolu. Przez 12 lat był dziekanem wydziału i przez 6 lat rektorem opolskiej uczelni technicznej. Działalność naukowo-badawcza i wdrożeniowa obejmuje dyscyplinę naukową energetyka i kilka dyscyplin pokrewnych.



e-mail: z.kabza@po.opole.pl

Mgr inż. Tadeusz HUDYMA

Absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej. W latach 1969-87 adiunkt w ZBPM „CUPRUM”- Kier. Lab. Techniki Komputerowej. Aktualnie Pełnomocnik ds. SZJ w EMIO PIW Wrocław. Trener z zakresu metod, metodyki i techniki pomiarów emisji zanieczyszczeń do powietrza. Ekspert Polskiej Izby Ekologii z zakresu „Ochrona Powietrza”.



e-mail: themio@emio.com.pl

### Streszczenie

W artykule podano budowę pyłomierza grawimetrycznego EMIOTEST 2598 służącego do pomiaru stężenia pyłu i strumienia masy pyłu w gazach odlotowych z procesów technologicznych i operacji technicznych. Przedstawiono rozwiązanie podsystemu pomiaru aspirowanego strumienia objętości z zastosowaniem zwężki pomiarowej typu cylindrycznego. Omówiono sposób wyznaczenia stałej zwężki  $K_v$ , na stanowisku do wzorcowania strumienia objętości w Laboratorium Wzorcującym firmy EMIO we Wrocławiu.

**Słowa kluczowe:** zwężka pomiarowa, cylindryczna, strumień objętości, pyłomierz grawimetryczny, emisja pyłu, stężenie pyłu.

### Cylindrical orifice in a dust meter

#### Abstract

The paper describes the construction of a gravimetric dust meter EMIOTEST 2598 which measures dust concentration and the stream of dust mass in waste gases from technological processes and technical operations. There is presented the technical solution of a subsystem for aspirated flow volume measurement using a cylindrical measuring orifice. Such a solution is used in the gravimetric dust meter EMIOTEST 2598 manufactured by EMIO. It was justified why this type of orifice was applied. The way of determining the orifice constant  $K_v$  was discussed. This determination was performed at the stand for calibrating the volume flow in the EMIO laboratory in Wrocław, Poland. The conditions for application of the orifice to devices measuring the volume flow are given.

**Keywords:** measurement diminisher cylinder type, gravimetric dust meter, dust emission, concentration of dust.

### 1. Wstęp

Do pomiaru stężenia masowego pyłu i wyznaczenia strumienia masy pyłu/cząstek stałych, w gazach odlotowych z procesów technologicznych i operacji technicznych stosowana jest specjalna metoda, polegająca na zasysaniu ze strumienia zapylnych gazów płynących w zamkniętym przewodzie (kanał/komin) części tego strumienia. Przy czym, istotnym jest odpowiedni sposób zasysania gwarantujący, że stężenie pyłu w strumieniu zasysanym jest reprezentatywne dla stężeniu pyłu w strumieniu głównym, w miejscu jego poboru.

Ten sposób zasysania nazywany *izokinetyczną aspiracją*, sprządza się do zachowania warunku równości prędkości  $v_a$  gazu mierzonego na wlocie przewodu strumienia aspirowanego, z prędkością lokalną gazu  $v_g$  w strumieniu głównym, mierzoną w punkcie poboru strumienia częściowego.

Iloraz tych prędkości  $v_a/v_g$  nosi nazwę *współczynnika izokinetyczności* ( $H$ ), a jego wartość powinna być utrzymywana w trakcie aspiracji w okolicach jedności. Zachowanie tego warunku pozwala na przyjęcie, że stężenie pyłu w strumieniu głównym w kanale i w częściowym, zasysanym jest takie same. Opis i uwarunkowania metody grawimetrycznej są zawarte w normach [1, 2]. Ten rodzaj pomiaru nosi nazwę *metody grawimetrycznej*, gdyż zatrzymany na filtrze pył jest po pomiarze laboratoryjnie ważony.

Grawimetryczna metoda pomiaru stężenia pyłu jest uznana za *metodę referencyjną* w kontrolnych pomiarach okresowych, w pomiarach wzorcujących i sprawdzających jakość stacjonarnych, automatycznych systemów pomiarowych [3]. Przyrządy i urządzenia stosowane w tej metodzie pomiarowej są użytkowane, jako zestawy przenośne.

Opis takiego zestawu, pyłomierza EMIOTEST 2598, produkcji EMIO (emio@emio.com.pl) przedstawiono poniżej.

### 2. Pyłomierz EMIOTEST®2598

Pyłomierz EMIOTEST 2598 jest urządzeniem przenośnym, przeznaczonym do wykonywania w kanałach zamkniętych pomiarów stężenia pyłu w gazach (np. w spalinach) oraz wyznaczania strumienia masy pyłu, np. emisji pyłu. Pomiar wykorzystuje izokinetyczny pobór częściowego strumienia badanego gazu i wydzieleniu z niego na filtrze cząsteczki stałe. W celu spełnienia wymagań norm [1, 2] pyłomierz EMIOEST 2598 w trakcie aspiracji dokonuje ciągłego pomiaru takich wielkości jak: ciśnienie atmosferyczne, ciśnienie statyczne i temperatura gazu w strumieniu głównym, stopień zawilżenia aspirowanego gazu, prędkość gazu oraz strumień objętości aspirowanego gazu. Pyłomierz jest wyposażony w funkcję automatycznej regulacji procesu izokinetycznego zasysania gazu i raportowania wyników końcowych stężenia i strumienia masy pyłu, strumienia objętości oraz wilgotności gazu.

Pyłomierz jest zestawem urządzeń oraz osprzętu konfigurowanym wg indywidualnych potrzeb pomiarowych użytkownika.

### 3. Podsystem pomiaru aspirowanego strumienia objętości

System pyłomierza EMIOTEST 2598 składa się z odcinka pomiarowego z zamontowaną zwężką pomiarową, przetwornika piezorezystancyjnego do pomiaru różnicy ciśnień  $\Delta P_V$  wytworzonej przez przepływ gazu przez zwężkę pomiarową, przetwornika piezorezystancyjnego do pomiaru ciśnienia względnego  $h_V$  przed zwężką, przetwornika piezorezystancyjnego do pomiaru ciśnienia atmosferycznego  $P_a$ , czujnika temperatury  $t_V$  gazu przepływającego przez zwężkę pomiarową, czujnika wilgotności względnej  $\varphi_V$  gazu przepływającego przez zwężkę.

Zasysany strumień objętości gazu  $Q_V$  jest obliczana ze wzoru

$$Q_V = K_V \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_V}{\rho_V}} \quad (1)$$

gdzie:  $K_V$  – stała zwężki pomiarowej,  $\Delta P_V$  – różnica ciśnień na zwężce,  $\rho_V$  – gęstość gazu przepływającego przez zwężkę.

Po uwzględnieniu wielkości mierzonych przez podsystem pomiaru zasysanego strumienia objętości, wzór (1) przyjmie postać

$$Q_V = 19,26 \cdot K_V \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_V \cdot (t_V + 273)}{\rho_u \cdot (P_a + h_V - 0,01 \cdot \varphi \cdot P_n) + 8,04 \cdot 10^{-3} \cdot \varphi \cdot P_n}} \text{ m}^3/\text{s} \quad (2)$$

gdzie:  $\rho_u$  – gęstość gazu suchego w warunkach normalnych (1013 hPa, 273 K),  $P_n$  – ciśnienie nasyconej pary wodnej w temperaturze  $t_V$ .

Jakość pomiaru strumienia objętości jest bardzo istotna w pomiarze stężenia i strumienia masy pyłu gdyż oprócz podstawowego udziału w zadaniu, jakim jest wyznaczenie objętości  $V_V$  zassanego gazu, decyduje również o jakości spełnienia warunku izokinetycznej aspiracji ( $H = 1$ ). Wynika to z faktu, że prędkość  $v_a$  mierzona jest na wlocie do końcówki aspiracyjnej umiejscowionej w badanym kanale i fizycznie stanowiącej początek toru/przewodu wiodącego zasasywany gaz.

Prędkość  $v_a$  jest obliczana w trybie *on-line* w czasie aspiracji, ze wzoru

$$v_a = 1,27 \cdot \frac{Q_V}{d_a} \cdot \frac{\rho_V}{\rho} \quad (3)$$

gdzie:  $\rho$  – jest gęstością gazu w badanym strumieniu głównym (w kanale),  $d_a$  – średnica nominalna (wlotu) końcówki aspiracyjnej.

#### 4. Zwężka cylindryczna

W zestawach urządzeń służących do wyznaczenia stężenia i strumienia masy pyłu możliwe jest zastosowanie do pomiaru objętości zasasywanego gazu różnych przepływomierzy. Najkorzystniejsza jest metoda zwężkowa. Przy jej stosowaniu brane są pod uwagę zalecenia i dane zawarte w polskich normach [4, 5]. Istnieje wiele publikacji ograniczających zastosowań zwęzek [6, 7, 8, 9, 10]. Przy projektowaniu pyłomierza EMIOTEST 2598 korzystano z patentu [8] i publikacji [6, 7]. Zastosowanie przepływomierzy zwężkowych w konstrukcji pyłomierzy grawimetrycznych zawarte są w książce [11].

#### 5. Kryteria wyboru zwężki cylindrycznej

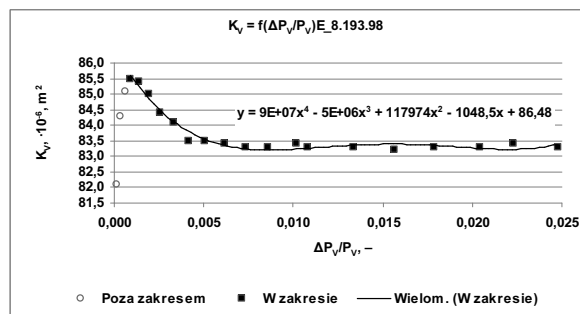
W odcinku pomiarowym umieszczonym w jednostce sterującej pyłomierza zastosowano zwężkę cylindryczną [10] o module  $m = 0,6$ .

Wybór został podyktowany tym, że zwężka tego typu w przeciwieństwie do zwęzek kwadrantowych stosowanych w tego typu urządzeniach, charakteryzuje się pozytywnymi cechami: w znacznym stopniu „uspokaja” wytwarzaną różnicę ciśnień  $\Delta P_V$ , jest bardziej odporna na działanie czynników agresywnych zawartych w aspirowanych gazach, jest łatwiejsza w konserwacji i montażu. Stałą  $K_V$  wyznacza się doświadczalnie podczas pierwszej adjustacji pyłomierza. Przy każdorazowym wzorcowaniu, jeżeli wstępny pomiar wzorcujący wykazuje przekroczenie wartości błędu granicznego, wykonywana jest re-adjustacja i ponowne wyznaczenie stałej  $K_V$ .

#### 6. Wyznaczanie stałej $K_V$ dla zwężki

W Laboratorium Wzorcującym w EMIO zostało zbudowane stanowisko SW.09 do wzorcowania podsystemu pomiaru strumienia objętości w pyłomierzach EMIOTEST. Stanowisko to jest stosowane również przy adjustacji wyznaczającej stałą  $K_V$ . Wzorcem roboczym w stanowisku SW.09 jest gazomierz rotorowy G16 f-my ROMET (Kanada) z podłączonym skomputeryzowanym modulem MWTPG16 służącym do przeliczania impulsów z fotoprzekaźnika na wartość strumienia objętości oraz realizującego *on-line* jego korektę dla małych przepływów. Zakres wzorcowania strumienia objętości wynosi  $3 \div 11 \text{ m}^3/\text{h}$ . Korektę wyznaczono, wykorzystując wzorec dodatkowy, którym jest gazomierz miechowy G4, produkcji INTERGAZ.

W trakcie badań zmienności stałej  $K_V$  stwierdzono, że jest ona zależna od ilorazu  $\Delta P_V : P_V$  (rys. 1.), gdzie  $P_V = P_a + h_V$ . Dlatego do pamięci pyłomierza jest wprowadzana również korekta zależna od tego stosunku, która w trybie *on-line*, w czasie aspiracji, aktualizuje wartość stałej  $K_V$ .



Rys. 1. Wykres funkcji  $K_V = f(\Delta P_V : P_V)$  dla  $m = 0,6$   
Fig. 1. Function  $K_V = f(\Delta P_V : P_V)$  for  $m = 0,6$

Do pamięci pyłomierza wprowadzana jest dwuodcinkowa funkcja aproksymacji liniowej wg zależności  $K_V = f(\Delta P_V / P_V)$ , przy czym dla wartości ilorazu powyżej 0,007 -  $K_V$  przyjmuje się jako wartość stałą. Dla zwęzek cylindrycznych stosowanych w pyłomierzach EMIOTEST wartość stałej  $K_V$ , w zależności od jej stanu, wynosi od  $75 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  do  $89 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ .

Niepewność rozszerzona wyznaczenia stałej  $K_V$ , dla zakresu podstawowego wynosi  $U = \pm 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  przy współczynniku rozszerzenia  $k = 1,96$  i poziomie ufności  $p = 95\%$ .

#### 7. Wnioski

Izokinetyczna aspiracja częściowego strumienia gazu w zakresie od ok.  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  pozwala na zastosowanie stałej wartości  $K_V$ . Przy mniejszych przepływach wartość stałej zwężki musi być modyfikowana w czasie aspiracji.

W czasie aspiracji musi być kontrolowana wartość ilorazu  $\Delta P_V : P_V$  i przy wartościach poniżej  $0,5 \cdot 10^{-2}$  wartość stałej zwężki  $K_V$  musi być modyfikowana na bieżąco. Przebieg zależności  $K_V = f(\Delta P_V / P_V)$  wskazuje, że parametr ten może być aproksymowany funkcjami liniowymi. Wartości  $K_V$  jest indywidualnie wyznaczane dla każdego pyłomierza.

#### 8. Literatura

- [1] PN-Z-04030-7 „Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości pyłu. Pomiar stężenia i strumienia masy pyłu w gazach odlotowych metoda grawimetryczna”. PKN Warszawa 1994.
- [2] PN-EN 13284-1 „Emisja ze źródeł stacjonarnych – Oznaczanie masowego stężenia pyłu w zakresie niskich wartości – Część 1: Manualna metoda grawimetryczna”, PKN Warszawa 2007.
- [3] PN-EN 14181(org.) „Emisja ze źródeł stacjonarnych – Zapewnienie jakości automatycznych systemów pomiarowych”. PKN Warszawa 2005.
- [4] PN-EN ISO 5167-1 Pomiary strumienia płynu za pomocą zwęzek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym – Część 1: Zasady i wymagania ogólne. PKN, Warszawa 2005.
- [5] PN-EN ISO 5167-2 Pomiary strumienia płynu za pomocą zwęzek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełnione rurociągi o przekroju kołowym – Część 2: Kryzy. PKN, Warszawa 2005.
- [6] Kabza Z.: Modele matematyczne przepływomierzy zwężkowych. Prace Naukowe Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, Politechnika Wrocławska, Seria Monograficzna, nr 4, Wrocław 1997.
- [7] Кабза З.: Цилиндрические сужающие устройства для измерений расхода газа // Теплоэнергетика. – 1977. – №5.
- [8] Kabza Z.: Zwężka pomiarowa, Patent nr 69385 zgłoszono 15.04.1970 P 140 030, Opublikowano 20.03.1974 r., Świadectwo autorskie nr 53895 z 26.08.1974 r.
- [9] Кремлевский П. П.: Расходомеры и счетчики количества веществ, Цдз. Политехника, Санкт-Петербург 2002.
- [10] Mała encyklopedia metrologii WNT, Warszawa 1989 s. 487–488, Zwężka cylindryczna Kabzy.
- [11] Teisseyre M.: Pyłomierze przemysłowe. Pomiary i aparatura. Fundacja Ochrony Powietrza Atmosferycznego, Wyd. 1, Warszawa 1995.