

dr inż. ELŻBIETA JANKOWSKA  
Centralny Instytut Ochrony Pracy

## Metody badania wysoko skutecznych materiałów filtracyjnych

Opracowywanie zasad klasyfikacji i oceny środków ochrony zbiorowej przed zapyleniem, zgodnych z nowoczesnymi technikami pomiarowymi, jest procesem obejmującym wieloletnią współpracę ośrodków badawczych z różnych krajów, wyposażonych w najnowocześniejszą aparaturę pomiarową. Efektem tych działań są nowe metody badawcze stanowiące podstawę opracowywania nowych norm europejskich, umożliwiających w sposób reprezentatywny ocenić istotne parametry poszczególnych środków ochrony zbiorowej przed zapyleniem.

Jednym z ważniejszych elementów środków ochrony zbiorowej przed zapyleniem są filtry powietrza. Systemy oczyszczające powietrze, w zależności od ich przeznaczenia, są wyposażone w filtry wstępne (typu G), filtry dokładne (typu F) [1] i filtry wysoko skuteczne (typu HEPA i ULPA) [2-6]. Oczyszczanie powietrza z cząstek drobnodispersyjnych, najbardziej szkodliwych dla ludzi i niebezpiecznych dla wyrobów, takich jak: produkty farmaceutyczne, elektroniczne itd., zwykle wymaga zastosowania trójstopniowego systemu oczyszczania powietrza, który zawiera filtry każdego z wymienionych typów.

Metody grawimetryczne, stosowane do badania skuteczności i penetracji filtrów powietrza, nie dają informacji o liczbowym stężeniu i rozkładzie wymiarowym cząstek, co jak wiadomo jest niezbędne do określenia szkodliwego działania pyłów (proces osadzania się pyłu w układzie oddechowym człowieka jest uzależniony od wymiarów cząstek) lub niebezpiecznego działania pyłów (jakość produktu jest zdefiniowana klasą czystości pomieszczenia).

Rozwój technik pomiarowych, umożliwiających zliczanie cząstek pyłów

o bardzo małych wymiarach, poczynając już od kilku nanometrów, umożliwił podjęcie prac nad nowymi normami, w których skuteczność i penetracja, określone metodą zliczania cząstek, będą podstawą do klasyfikacji i oceny filtrów powietrza. Normy te są opracowywane w ramach działalności Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN/TC 195 *Filtry do oczyszczania powietrza*.

Jednym z obecnie opracowywanych projektów norm jest prEN 779 [7], w którym są opisane metody badania i klasyfikacji filtrów wstępnych (bazujące nadal na metodach grawimetrycznych, ze względu na niewysoką skuteczność tych filtrów) i metody badania filtrów dokładnych metodą zliczania cząstek, przy użyciu aerozolu o średnim wymiarze cząstek 0,4 µm.

Metody badania filtrów wysoko skutecznych (typu HEPA i ULPA) są bardziej skomplikowane i wymagają przeprowadzenia badań w kilku etapach. Decyzją Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN/TC 195, podstawą normy europejskiej EN 1822 [2-6] są metody zliczania cząstek najbardziej penetrujących (MPPS) o wymiarach z zakresu 0,15-0,30 µm. W celu określenia wymiaru cząstek najbardziej penetrujących (MPPS), najpierw bada się materiał filtracyjny zastosowany w filtrze. Następnie określa się skuteczność miejscowe (przecieki) i skuteczność całkowitą filtru dla cząstek MPPS. Metody badania wraz z opisem stosowanej aparatury oraz zasady klasyfikacji filtrów są zawarte w normach europejskich [2-6].

W niniejszym artykule, który jest kontynuacją artykułów wcześniej opublikowanych [8,9], przedstawiono szczegółowy opis metod badania materiałów filtracyjnych stosowanych w wysoko skutecznych filtrach powietrza typu HEPA i ULPA.

*Praca wykonana w ramach Programu Wieloletniego (b. SPR-1) pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych*

### METODY BADANIA MATERIAŁÓW FILTRACYJNYCH STOSOWANYCH W WYSOKO SKUTECZNYCH FILTRACH POWIETRZA TYPU HEPA I ULPA

Metody badania materiałów filtracyjnych stosowanych w wysoko skutecznych filtrach powietrza typu HEPA i ULPA są opisane w trzeciej części normy EN 1822-3 [4]. Procedura zawiera opis metody badań, stanowisk pomiarowych i warunków podczas prowadzenia badania, a także opis metod oceny wyników badań.

#### Ogólny opis metody badań

Celem badań jest określanie skuteczności frakcyjnej materiału filtracyjnego metodą zliczania cząstek oraz opór przepływu przy zalecanej dla badanego materiału prędkości przepływu.

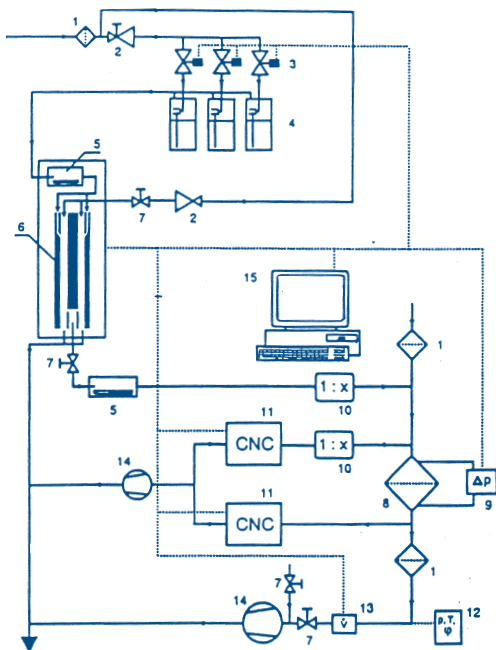
Próbki materiału filtracyjnego są mcowane w uchwycie pomiarowym i poddawane badaniom przy strumieniu objętości powietrza, odpowiadającym zalecanej dla danego materiału prędkości przepływu.

Aerozol testowy wytwarzany w generatorze jest kondycjonowany (np. odparowanie rozpuszczalnika), a następnie neutralizowany, po czym jednorodnie mieszaniny z oczyszczonym powietrzem i doprowadzany do uchwytu pomiarowego.

W celu określenia skuteczności frakcyjnej materiału filtracyjnego, próbki ae-

rozolu testowego są pobierane przed i za badanym materiałem. Podczas pobierania próbek aerozolu testowego należy zapewnić reprezentatywność pobieranej próbki w odniesieniu do aerozolu przepływającego w kanale pomiarowym. Aby uniknąć osadzania się cząstek w przewodach łączących, powinny być one jak najkrótsze.

Stężenie liczbowe dla różnych wymiarów cząstek określa się stosując liczniki cząstek. Jeżeli stężenie liczbowe cząstek przed badanym materiałem filtracyjnym przekracza zakres pomiarowy zastosowanego licznika, wtedy między punktem pomiarowym a licznikiem umieszcza się system do rozcieńczania aerozolu.



Rys. 1. Stanowisko do badania przy użyciu aerozolu monodispersyjnego: 1 – filtr, 2 – zawór ciśnieniowy, 3 – zawór elektromagnetyczny, 4 – rozpylacz dyszowy, 5 – neutralizator, 6 – analizator ruchliwości elektrycznej cząstek, 7 – zawór iglicowy, 8 – uchwyt badanego materiału filtracyjnego, 9 – przyrząd do pomiaru oporu przepływu, 10 – system rozcieńczania, 11 – licznik kondensacyjny, 12 – przyrządy do pomiaru ciśnienia bezwzględnego, temperatury i wilgotności względnej, 13 – przyrząd do pomiaru strumienia objętości, 14 – pompa próżniowa, 15 – komputer do kontrolowania i przechowywania danych

Wyniki pomiarów stężeń liczbowych cząstek przed i za badanym materiałem filtracyjnym są wykorzystywane do sporządzenia wykresu zależności skuteczności materiału filtracyjnego w funkcji wymiarów cząstek dla materiału filtracyjnego i określenia takiego wymiaru cząstek, dla którego skuteczność osiąga minimum. Ten wymiar cząstek jest znany jako wymiar cząstek najbardziej penetrujących (MPPS).

Stanowisko badawcze jest wyposażone w aparaturę do pomiaru ciśnienia, temperatury i wilgotności względnej aerozolu testowego oraz do pomiaru i regulacji strumienia objętości przepływającego powietrza.

Badania materiałów filtracyjnych mogą być prowadzone z zastosowaniem aerozolu monodispersyjnego lub polidispersyjnego. Metody te różnią się między sobą sposobami wytwarzania aerozolu i rodzajami stosowanych liczników cząstek.

### Stanowisko do badania materiałów filtracyjnych z zastosowaniem monodispersyjnego aerozolu testowego

Podczas badania materiału filtracyjnego z zastosowaniem aerozolu monodispersyjnego liczbowe stężenie cząstek określa się metodą zliczania całkowitego przy użyciu licznika kondensacyjnego. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1.

Aerozol monodispersyjny jest wytwarzany w następujący sposób. Przy użyciu rozpylacza dyszowego jest generowany aerozol polidispersyjny z roztworu, np. DEHS/izopropanolu [3]. Cząstki aerozolu są zmniejszane do odpowiedniego wymiaru poprzez odparowanie rozpuszczalnika. Następnie aerozol jest neutralizowany i doprowadzany do analizatora ruchliwości elektrycznej cząstek. Monodispersyjny aerozol testowy, odprowadzany z analizatora ruchliwości elektrycznej cząstek, jest ponownie neutralizowany, a następnie jednorodnie mieszany z czystym powietrzem w ilości niezbędnej do uzyskania strumienia objętości odpowiadającego zalecanej liniowej prędkości przepływu przez materiał filtracyjny.

Aby uzyskać dostatecznie wysokie stężenie liczbowe cząstek dla całego zakresu pomiarowego 0,04–0,8  $\mu\text{m}$ , stosuje się kilka rozpylaczy dyszowych, zawierających roztwory substancji aerozolowych o różnych stężeniach.

Przepływ aerozolu testowego jest wymuszony przez pompę umieszczoną za uchwytem z badanym materiałem filtracyjnym. Zapewnia to utrzymanie niemal stałych warunków pracy analizatora ruchliwości elektrycznej cząstek, niezależnie od oporu przepływu przez badany materiał filtracyjny.

W celu określenia skuteczności frakcyjnej materiału filtracyjnego, określa się wartości skuteczności przynajmniej dla sześciu wymiarów cząstek, rozmieszczonych w przybliżeniu w jednakowych, w skali logarytmicznej odstępach na osi wymiarów cząstek.

Stosując analizator ruchliwości elektrycznej cząstek wytwarza się kolejno sześć monodispersyjnych aerozoli o odpowiednich średnich średnicach cząstek poprzez regulację zmian napięcia między elektrodami analizatora.

Następnie mierzy się stężenia liczbowe cząstek przed- i za badanym materiałem filtracyjnym przy jednoczesnym zastosowaniu dwóch liczników kondensacyjnych lub przy użyciu jednego licznika, umożliwiającego pomiar stężenia kolejno przed- i za badanym materiałem. W razie zastosowania jednego licznika cząstek, pomiary za badanym materiałem filtracyjnym mogą być wykonywane dopiero wtedy, gdy stężenie liczbowe cząstek mierzone przez licznik kondensacyjny spadnie do takiego poziomu, że wyniki pomiaru cząstek za badanym materiałem będą odpowiadały rzeczywistej liczbie cząstek.

### Stanowisko do badania materiałów filtracyjnych z zastosowaniem polidispersyjnego aerozolu testowego

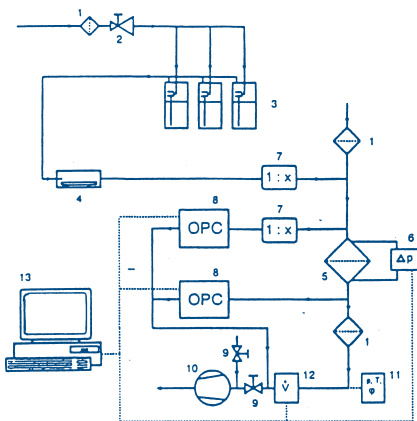
Podczas badania materiału filtracyjnego przy użyciu polidispersyjnego aerozolu testowego do określania rozkładu i stężenia liczbowego cząstek aerozolu są

stosowane liczniki optyczne. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 2.

Aerozol polidispersyjny stosowany w badaniach powinien być uprzednio zneutralizowany. Aby uzyskać cały zakres wymiarowy cząstek aerozolu testowego, stosuje się kilka rozpylaczy dyszowych z roztworami substancji aerozolowych o różnych stężeniach. Średnia średnica cząstek rozkładu liczbowego powinna znajdować się w zakresie wymiarowym 0,04–0,8  $\mu\text{m}$ .

Podczas stosowania metody z użyciem aerozolu polidispersyjnego określane są również, tak jak w przypadku metody z zastosowaniem aerozolu monodispersyjnego, wartości skuteczności przynajmniej dla sześciu wymiarów cząstek, rozmieszczonych w przybliżeniu w jednakowych, w skali logarymicznej, odstępach na osi wymiarów cząstek.

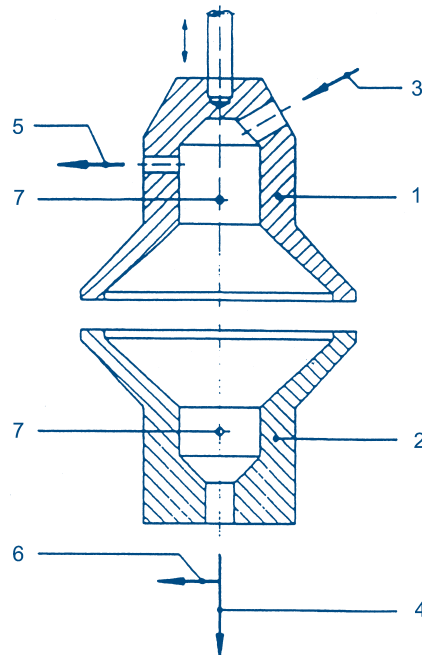
W przypadku pomiaru rozkładu i stężenia liczbowego cząstek przed badanym materiałem należy się upewnić, czy podczas zliczeń nie występują błędy koincydencji optycznego licznika cząstek.



Rys. 2. Stanowisko do badania przy użyciu aerozolu polidispersyjnego: 1 – filtr, 2 – zawór redukcyjny, 3 – rozpylacz dyszowy, 4 – neutralizator, 5 – chwyt badanego materiału filtracyjnego, 6 – przyrząd do pomiaru oporu przepływu, 7 – system rozcieńczania, 8 – optyczny licznik cząstek, 9 – zawór iglicowy, 10 – pompa próżniowa, 11 – przyrządy do pomiaru ciśnienia bezwzględniego, temperatury i wilgotności względnej, 12 – przyrząd do pomiaru strumienia objętości, 13 – komputer do kontrolowania i przechowywania danych

### Uchwyt próbki badanego materiału filtracyjnego

Uchwyt próbki badanego materiału filtracyjnego składa się z ruchomej części górnej i zamontowanej na stałe części dolnej (rys. 3). Próbkę materiału należy montować w taki sposób, aby zapewnić szczelność badanego układu pomiarowego, a powierzchnia czynna próbki materiału była całkowicie odsłonięta.



Rys. 3. Przykład uchwyty pomiarowego do badania materiałów filtracyjnych: 1 – część górna (ruchoma), 2 – część dolna (zamontowana na stałe), 3 – wlot aerozolu testowego, 4 – wylot aerozolu testowego, 5 – pobieranie próbki aerozolu przed badanym materiałem filtracyjnym, 6 – pobieranie próbki aerozolu za badanym materiałem filtracyjnym, 7 – punkty pomiaru oporu przepływu

Aerozol testowy jest wprowadzany przez otwór wlotowy w części górnej uchwyty badanego materiału filtracyjnego. Należy zapewnić jednorodny rozkład stężenia aerozolu doprowadzanego do powierzchni badanego materiału filtracyjnego. Odprowadzenie aerozolu testowego znajduje się w dolnej części uchwyty.

Stanowisko pomiarowe jest wyposażone w połączenia do pobierania i pomia-

ru ilości i wielkości cząstek aerozolu testowego przed- i za badanym materiałem filtracyjnym, a także w połączenia do pomiaru oporu przepływu.

### Pomiar oporu przepływu materiału filtracyjnego

Opory przepływu materiału filtracyjnego mierzy się przed podaniem do układu pomiarowego aerozolu testowego. Badania wykonuje się po osiągnięciu stabilnej pracy układu pomiarowego.

Opór przepływu materiału filtracyjnego jest mierzony przy użyciu przyrządów do pomiaru różnicy ciśnień, które są połączone z punktami pomiarowymi, umieszczonymi w uchwycie przed i za badanym materiałem filtracyjnym.

### OCENA WYNIKÓW BADAŃ MATERIAŁU FILTRACYJNEGO

Podstawą do oceny parametrów użytkowych materiałów filtracyjnych są wyniki badań uzyskane przynajmniej dla pięciu próbek badanego materiału. Wartość oporu przepływu oblicza się jako średnią arytmetyczną z wyników pomiarów jednostkowych.

Podczas oceny zliczeń cząstek jest uwzględniona statystyka zliczania cząstek jak opisano w EN 1822-2:1998 [3]. Do obliczenia penetracji i skuteczności frakcyjnej bierze się pod uwagę najmniej korzystne wartości graniczne przedziału ufności.

Dla każdego z sześciu lub więcej punktów pomiarowych krzywej skuteczności frakcyjnej, oblicza się następujące średnie arytmetyczne z wyników pomiarów jednostkowych:

- średnią skuteczność materiału filtracyjnego dla zliczonych cząstek  $\bar{E}$ ,
- średnią skuteczność materiału, jako dolną granicę dla 95% przedziału ufności  $\bar{E}_{95\%}$ .

Wartości skuteczności  $\bar{E}$  i  $\bar{E}_{95\%}$  przedstawiono na wykresie (rys. 4). Wymiar cząstek najbardziej penetrujących (MPPS)  $\bar{d}_p$  jest określany dla minimum

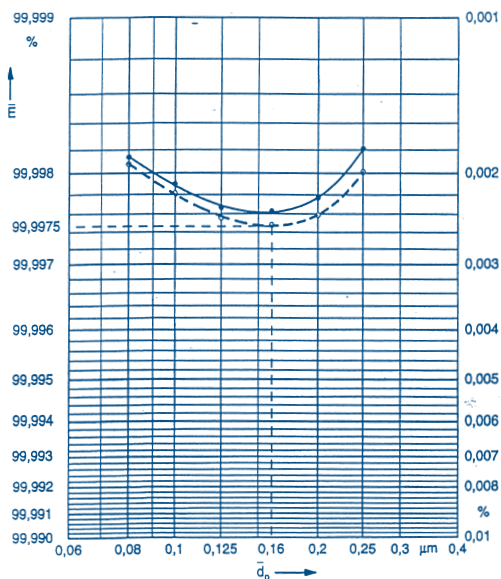


krzywej średniej skuteczności  $\bar{E}_{95\%}$ . W ten sposób uwzględnia się zarówno jakość pomiarów, jak i statystyczne niepewności związane z procedurami pomiarowymi dla małej liczby cząstek.

SPRAWOZDANIE Z BADAŃ MATERIAŁU FILTRACYJNEGO

Sprawozdanie z badań materiału filtracyjnego powinno zawierać co najmniej następujące informacje:

- ogólne dane dotyczące badań:
  - oznaczenie materiału filtracyjnego,
  - liczba badanych próbek materiału,
  - prędkość przepływu dla materiału filtracyjnego,
  - rodzaj aparatury pomiarowej zastosowanej do pomiaru cząstek,
  - rodzaj zastosowanego aerozolu testowego
- wyniki badań:
  - średni początkowy opór przepływu materiału filtracyjnego  $\Delta\bar{p}$ ,
  - wymiar cząstek najbardziej penetrujących (MPPS)  $\bar{d}_p$ ,
  - skuteczność filtracji dla wymiaru cząstek najbardziej penetrujących  $\bar{E}_{95\%}$ ,
  - tablicę zawierającą wartości średniej skuteczności  $\bar{E}_{95\%}$ , dla poszczególnych wymiarów cząstek,



Rys. 4. Średnia skuteczność  $\bar{E}$  (—) i  $\bar{E}_{95\%}$  (---) w funkcji średnicy cząstki  $\bar{d}_p$  (przykład):  $\bar{d}_p$  – wymiar cząstek najbardziej penetrujących (MPPS), 0,16  $\mu\text{m}$ ,  $\bar{E}_{95\%}$  – skuteczność dla wymiaru cząstek najbardziej penetrujących, 99,9975%

– wykres przedstawiający średnie skuteczności  $\bar{E}$  i średnie skuteczności  $\bar{E}_{95\%}$  [4] (rys. 4).

\* \* \*

Zagadnienia przedstawione w niniejszym artykule wraz z zagadnieniami opisanymi w normach europejskich [2-6] są dla ośrodków naukowo-badawczych oraz producentów i użytkowników wysoko skutecznych materiałów filtracyjnych i filtrów powietrza bogatym materiałem informacyjnym w zakresie:

- generowania aerozoli monodispersyjnych i aerozoli polidispersyjnych,
- pobierania próbek aerozolu do badań,
- rozcieńczania próbek aerozolu,
- określania rozkładu wymiarowego cząstek aerozolu testowego,
- zliczania całkowitego i frakcyjnego cząstek,
- obliczania skuteczności i penetracji badanych materiałów filtracyjnych i filtrów powietrza z uwzględnieniem statystyki zliczania cząstek,
- oceny i klasyfikacji materiałów filtracyjnych i filtrów powietrza typu HEPA i ULPA.

PIŚMIENNICTWO

[1] PN-EN 779:1998. *Przeciwpylowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej. Wymagania, badania, oznaczenie*

[2] EN 1822-1:1998. *High efficiency air filters (HEPA i ULPA). Part 1: Classification, performance testing, marking*

[3] EN 1822-2:1998. *High efficiency air filters (HEPA i ULPA). Part 2: Aerosol production, measuring equipment, particle counting statistics*

[4] EN 1822-3:1998. *High efficiency particulate air filters (HEPA i ULPA). Part 3: Testing flat sheet filter media*

[5] EN 1822-4:2000. *High efficiency air filters (HEPA i ULPA). Part 4: Determining leakage of filter elements*

[6] EN 1822-5:2000. *High efficiency particulate air filters (HEPA i ULPA). Part 5: Determining the efficiency of filter elements*

[7] PrEN 779:1999. *Particulate air filters for general ventilation – Determination of the filtration performance*

[8] Jankowska E., Lisowski A.: *Nowe metody badania filtrów powietrza o wysokiej skuteczności typu HEPA i ULPA*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, nr 4 (337), 1998

[9] Lisowski A., Jankowska E.: *Metody badania i klasyfikacji filtrów powietrza stosowanych w wentylacji ogólnej*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, nr 5 (350), 1999

# KONKURS plakatów wypadki w rolnictwie