

Skuteczność filtracji

cząstek nanometrycznych przez materiały filtracyjne

dr inż. ELŻBIETA JANKOWSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

W artykule przedstawiono wyniki badania skuteczności frakcyjnej materiałów stosowanych w filtrach dokładnych z grupy F (dla frakcji cząstek od 29 do 279 nm) i w filtrze wysoko skutecznym z grupy HEPA (dla frakcji cząstek od 32 do 225 nm). Badania przeprowadzono przy różnych prędkościach przepływu aerozolu atmosferycznego (filtr z grupy F) i aerozolu DEHS (filtr z grupy HEPA).

Filtration efficiency of nanoparticles through filter materials

The article presents results of an investigation of fractional efficiency of materials used in F-group fine filters (for particle fractions from 29 to 279 nm) and an HEPA-group high-efficiency filter (for particle fractions from 32 to 225 nm). Fractional efficiencies were studied at different velocities of an atmospheric aerosol (F-group filters) and DEHS aerosol (HEPA-group filter).

Wprowadzenie

Stosowanie wielostopniowych układów filtracyjnych, zapewniających właściwą skuteczność filtracji w odniesieniu do danej frakcji wymiarowej cząstek, jest istotne w systemowym zarządzaniu bezpieczeństwem i higieną pracy (ochrona zdrowia pracowników) [1], zarządzaniu środowiskowym (ochrona środowiska naturalnego) [2] oraz zarządzaniu jakością (uzyskiwanie produktów o odpowiedniej jakości) [3].

Do oczyszczania powietrza z cząstek drobnodispersyjnych, najbardziej szkodliwych dla ludzi i niebezpiecznych dla produktów i środowiska naturalnego, są używane filtry dokładne z grupy F [4] i filtry wysoko skuteczne z grupy HEPA lub ULPA [5]. Szczególną uwagę zwraca się obecnie na oczyszczanie powietrza z cząstek nanometrycznych o wymiarach poniżej 500 nm, gdyż narażenie na te cząstki może być przyczyną takich chorób, jak pylice czy choroby nowotworowe, a także powodem indukowania odczynu zapalnego w pęcherzykach płucnych i prowadzić do zaburzeń krzepnięcia krwi [6].

Badanie skuteczności frakcyjnej cząstek o wymiarach poniżej 500 nm jest bardzo istotne również z tego powodu, że jest to obszar wymiarowy zawierający cząstki najbardziej penetrujące (MPPS) przez włókniste materiały filtracyjne [7]. Oznacza to, że cząstki o większych lub mniejszych wymiarach niż cząstki najbardziej penetrujące są zatrzymywane w materiałach włóknistych z większą skutecznością. W odniesieniu do danego materiału filtracyjnego, przy danej prędkości przepływu aerozolu testowego skuteczność filtracji osiąga wartość minimalną w przypadku cząstek najbardziej penetrujących (MPPS).

Obiekt badań

Przeprowadzone badania dotyczyły materiałów filtracyjnych stosowanych w filtrach dokładnych (z grupy F) i w filtrze wysoko skutecznym (z grupy HEPA). Dane na temat parametrów strukturalnych badanych materiałów filtracyjnych oraz warunków badań (w odniesieniu do prędkości przepływu aerozoli testowych przez materiały filtracyjne) przedstawiono w tabeli 1. (str. 11.).

W celu określenia wpływu prędkości przepływu aerozoli testowych na skuteczność frakcyjną materiałów filtracyjnych – szczególnie na skuteczność minimalną osiąganą w odniesieniu cząstek najbardziej penetrujących (MPPS) – badania przeprowadzono przy prędkości przepływu mniejszej, takiej samej lub większej od prędkości występującej w filtrze, w którym zastosowano badany materiał filtracyjny.

Metoda badań

Do badania materiałów filtracyjnych z filtrów z grupy F został zastosowany test aerozolu atmosferycznego, natomiast do badań materiału z filtru z grupy HEPA – test aerozolu DEHS (sebacynianu dietyloheksylu), zalecanego w normach [4, 5]. Warunki podczas badania materiałów filtracyjnych z filtrów z grupy F odpowiadały warunkom rzeczywistym występującym w początkowej fazie osadzania się cząstek aerozolu atmosferycznego w filtrach

dokładnych zainstalowanych w systemach wentylacyjnych. Oznacza to, że w trakcie badań stosowano aerozol atmosferyczny i materiały filtracyjne, które nie były poddawane neutralizacji (nie usuwano ładunków elektrostatycznych, które mogły być obecne na cząstkach aerozolu i włóknach materiału). Materiału filtracyjnego z filtru z grupy HEPA oraz aerozolu DEHS również nie poddawano neutralizacji, aby warunki były jak najbardziej zbliżone do warunków rzeczywistych, a jednocześnie, aby w badaniach zastosować aerozol testowy zalecany w normach [4, 5].

Skuteczność frakcyjną badanych materiałów filtracyjnych określano na podstawie pomiaru stężeń liczbowych cząstek aerozoli testowych w sposób przemienny, „przed” i „za” badanym materiałem filtracyjnym, z zastosowaniem systemu analizy wymiarowej cząstek (SMPS). System SMPS zawierał licznik kondensacyjny model 3022A TSI (CPC) oraz analizator ruchliwości elektrycznej cząstek model 3080L TSI (DMA). Cząstki aerozolu testowego zliczono (z dokładnością wystarczającą do określenia skuteczności frakcyjnej badanych materiałów) w przedziale średnic: od 29 do 279 nm, w przypadku aerozolu atmosferycznego i od 32 do 225 nm, w przypadku aerozolu DEHS.

Skuteczność filtracji badanych materiałów obliczano w odniesieniu do poszczególnych frakcji cząstek o średnicach zawartych w wymienionych przedziałach wymiarowych z zależności:

$$\eta_N = \left(\frac{N_o - N}{N_o} \right) \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

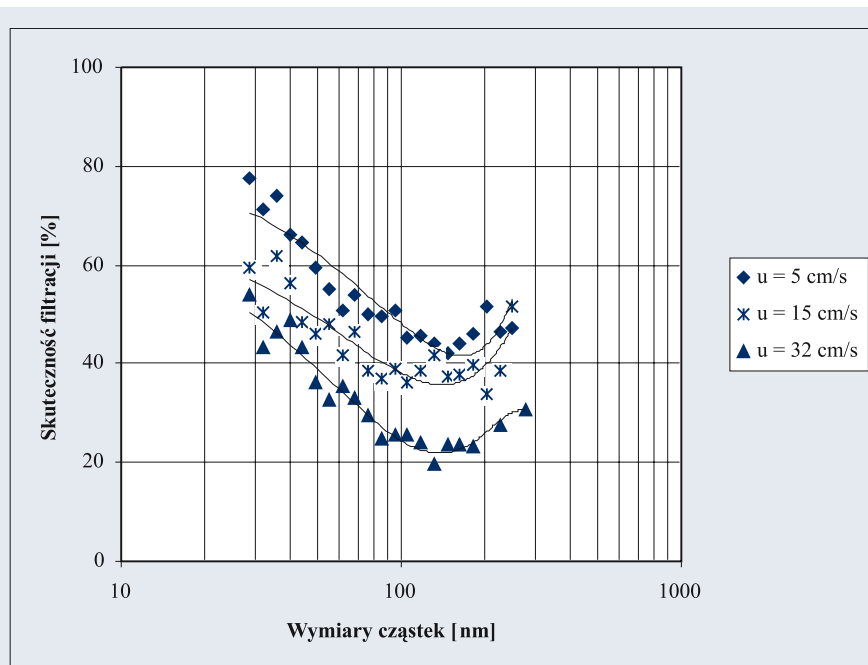
gdzie:

N_o – stężenie liczbowe cząstek aerozolu testowego mierzone „przed” badanym materiałem filtracyjnym, liczba cząstek/cm³

N – stężenie liczbowe cząstek aerozolu testowego mierzone „za” badanym materiałem filtracyjnym, liczba cząstek/cm³.

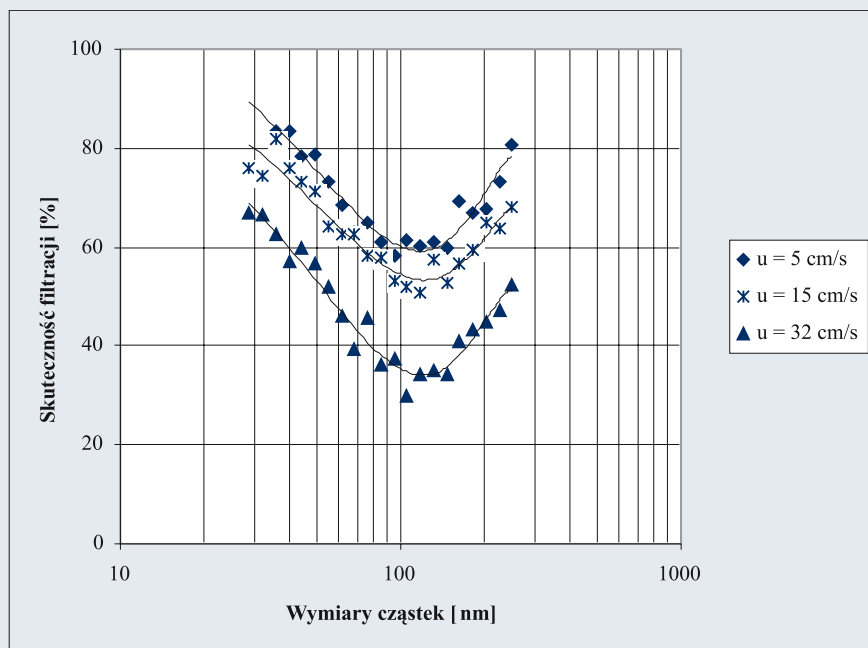
Wyniki badań

Wyniki badań skuteczności frakcyjnej materiałów filtracyjnych z filtrów z grupy F



Rys. 1. Skuteczność filtracji cząstek nanometrycznych przez materiał z filtru klasy F6 przy różnych prędkościach przepływu aerozolu atmosferycznego

Fig. 1. Filtration efficiency of nanoparticles by material from filter class F6 for different velocities of atmospheric aerosol



Rys. 2. Skuteczność filtracji cząstek nanometrycznych przez materiał z filtru klasy F8 przy różnych prędkościach przepływu aerozolu atmosferycznego

Fig. 2. Filtration efficiency of nanoparticles by material from filter class F8 for different velocities of atmospheric aerosol

przedstawiono na rysunkach 1. i 2., natomiast materiału z filtru z grupy HEPA – na rysunku 3.

Z przedstawionych danych wynika, że dla poszczególnych materiałów filtracyjnych, badanych przy różnych prędkościach przepływu aerozoli testowych, ogólne przebiegi skuteczności w funkcji wymiarów cząstek są podobne. Można zaobserwować, że występują następujące tendencje:

- spadek skuteczności w obszarze cząstek o wymiarach od 29 nm do MPPS (materiały z filtrów F6 i F8) oraz w obszarze cząstek o wymiarach 32 nm do MPPS (materiał z filtru HEPA)

- wzrost skuteczności w obszarze cząstek o wymiarach od MPPS do 279 nm (materiały z filtrów F6 i F8) oraz w obszarze cząstek o wymiarach MPPS do 225 nm (materiał z filtru HEPA).

Pomimo podobnego charakteru przebiegu krzywe zależności skuteczności filtracji od wymiarów cząstek różnią się znacznie zarówno w zależności od klasy/grupy filtru, z którego pochodził badany materiał filtracyjny, jak i od prędkości przepływu aerozolu testowego przez badany materiał filtracyjny. W tabeli 2. zamieszczono wartości skuteczności frakcyjnej w odniesieniu do cząstek mniejszych oraz równych lub większych od cząstek najbardziej penetrujących (MPPS) przez badane materiały filtracyjne.

W przypadku materiału z filtru F6 wymiarom cząstek MPPS (173, 155 i 142 nm) odpowiadały minimalne skuteczności 42% (5 cm/s), 36% (15 cm/s) i 22% (32 cm/s). Zatem wzrost prędkości z 5 do 32 cm/s powodował spadek skuteczności dla cząstek MPPS o 20%. Podobne zjawisko, ale przy znacznie większych wartościach skuteczności filtracji, zaobserwowano w odniesieniu do materiału z filtru klasy F8. Wymiarowi cząstek MPPS (130 i 124 nm) odpowiadały minimalne skuteczności 59% (5 cm/s), 53% (15 cm/s) i 34% (32 cm/s), a wzrost prędkości z 5 do 32 cm/s powodował spadek skuteczności w odniesieniu do cząstek MPPS o 25%. Z porównania wartości skuteczności dla cząstek 40 nm (mniejszych od MPPS) z wartościami skuteczności minimalnych (dla cząstek MPPS) wynika, że w zależności od prędkości przepływu aerozoli testowych skuteczność filtracji cząstek 40 nm jest w przypadku materiału z filtru F6 większa od skuteczności minimalnej o 20–27%, natomiast w przypadku materiału z filtru F8 o 23–26%. Dla cząstek 225 nm (większych od cząstek MPPS) skuteczności frakcyjne są, w zależności od prędkości przepływu, większe od skuteczności minimalnych (dla cząstek MPPS) dla materiału z filtru klasy F6 3–5%, natomiast dla materiału z filtru klasy F8 o 11–14%.

W przypadku materiału z filtru HEPA wymiarom cząstek MPPS (188 i 164 nm) odpowiadały minimalne skuteczności 91,2% (3,3 cm/s) i 89,7% (5,3 cm/s). Wzrost prędkości z 3,3 do 5,3 cm/s powodował spadek skuteczności dla cząstek MPPS o 1,5%. Choć spadek skuteczności nie jest tak znaczny, jak w odniesieniu do filtrów z grupy F, to z uwagi na przeznaczenie filtrów HEPA (np. sterylne sale operacyjne, produkcja leków i surowic, pomieszczenia produkcji mikroelektroniki, siłownie jądrowe itp.)

Tabela 1

PARAMETRY STRUKTURALNE I PRĘDKOŚCI PRZEPLYWU AEROSZLI TESTOWYCH PRZEZ MATERIAŁY Z FILTRÓW DOKŁADNYCH I Z FILTRU WYSOKO SKUTECZNEGO

Structural parameters and velocities of test aerosols by materials from fine filters and high efficiency filter

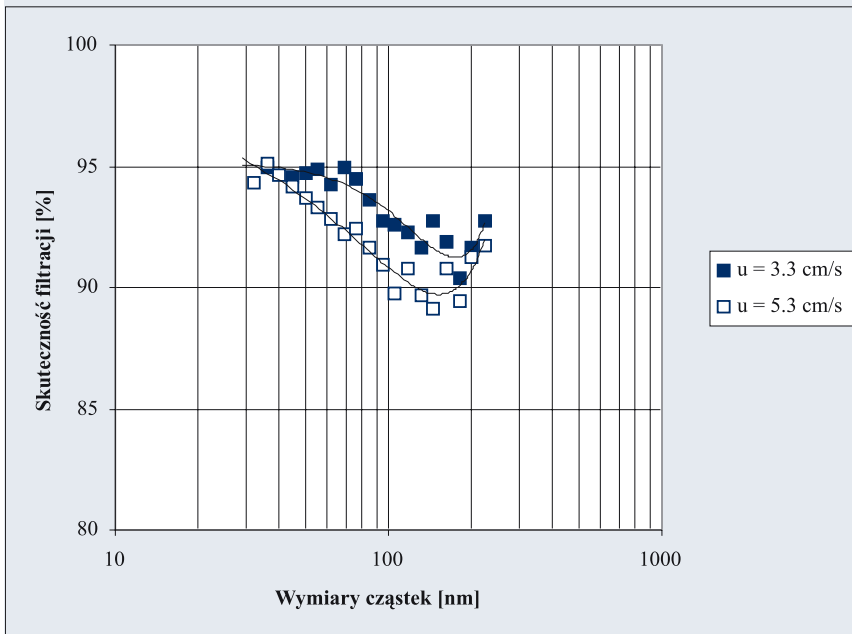
Materiał z filtru klasy/grupy	Rodzaj materiału filtracyjnego	Masa powierzchniowa g/m ²	Grubość mm	Prędkość przepływu aeroszlu testowego przez badany materiał filtracyjny, cm/s		
				mniejsza niż w filtrze	taka sama jak w filtrze	większa niż w filtrze
F6	włókna z włókien polipropylenowych	240	4	5	15	32
F8		210	2	5	15	32
HEPA	karton z włókien szklanych	75	0,42	–	3,3	5,3

Tabela 2

SKUTECZNOŚĆ FRAKCYJNA BADANYCH MATERIAŁÓW FILTRACYJNYCH DLA CZĄSTEK MNIJSZYCH, RÓWNYCH LUB WIĘKSZYCH OD CZĄSTEK NAJBARDZIEJ PENETRUJĄCYCH (MPPS)

Fractional efficiency of tested filtering materials for particles with size smaller, the same and bigger than most penetration particles (MPPS)

Materiał z filtru klasy/grupy	Prędkość przepływu aeroszlu testowego cm/s	Skuteczność frakcyjna materiału filtracyjnego, %					
		dla cząstek mniejszych od cząstek MPPS	dla cząstek MPPS (określonych z linii trendu)	dla cząstek większych od cząstek MPPS			
F6	5	$d_M = 40 \text{ nm}$	66	$d_{MPPS} = 173 \text{ nm}$	42	$d_W = 225 \text{ nm}$	46
	15		56	$d_{MPPS} = 155 \text{ nm}$	36		39
	32		49	$d_{MPPS} = 142 \text{ nm}$	22		27
F8	5	$d_M = 40 \text{ nm}$	83	$d_{MPPS} = 130 \text{ nm}$	59	$d_W = 225 \text{ nm}$	73
	15		76		53		64
	32		60		$d_{MPPS} = 124 \text{ nm}$		34
HEPA	3,3	$d_M = 62 \text{ nm}$	94,25	$d_{MPPS} = 188 \text{ nm}$	91,2	$d_W = 202 \text{ nm}$	91,66
	5,3		92,84	$d_{MPPS} = 164 \text{ nm}$	89,7		91,24



Rys. 3. Skuteczność filtracji cząstek nanometrycznych przez materiał z filtru klasy HEPA przy różnych prędkościach przepływu aeroszlu DEHS

Fig. 3. Filtration efficiency of nanoparticles by material from filter class HEPA for different velocities of DEHS aerosol

wzrost prędkości przepływu aeroszlu przez filtr może bardzo istotnie wpływać na wzrost liczby cząstek MPPS przepuszczanych przez filtr wysoko skuteczny do pomieszczeń pracy. Z porównania wartości skuteczności uzyskanych w odniesieniu do materiału z filtru HEPA wynika, że w przypadku cząstek 62 nm (mniejszych od MPPS) i 202 nm (większych od MPPS) wartości skuteczności są o 0,5–3,2% większe od wartości skuteczności minimalnych.

Podsumowanie

Materiały z filtrów o coraz wyższej klasie/grupie filtracyjnej (w kolejności F6, F8 i HEPA) charakteryzują się większymi wartościami

Praca wykonana w ramach realizacji programu wieloletniego pn. „Dostosowanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej”, dofinansowywanego w latach 2002-2004 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Komitet Badań Naukowych. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

skuteczności frakcyjnych określonych przy danej prędkości przepływu aeroszlu testowego. Wraz ze wzrostem prędkości przepływu aeroszlu testowego przez badany materiał filtracyjny zmniejszają się wartości skuteczności filtracji dla danych wymiarów cząstek. Wraz ze wzrostem prędkości przepływu aeroszlu testowego coraz mniejszym minimalnym wartościom skuteczności filtracji odpowiada taki sam lub mniejszy wymiar cząstek najbardziej penetrujących (MPPS) przez badany materiał filtracyjny.

PIŚMIENNICTWO

[1] PN-N-18001:2004 Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Wymagania
 [2] PN-EN ISO 14001:2005 Systemy zarządzania środowiskowego. Wymagania i wytyczne stosowania
 [3] PN-EN ISO 9001:2001 Systemy zarządzania jakością. Wymagania
 [4] PN-EN 779:2005 Przeciwpylowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej. Określanie parametrów filtracyjnych
 [5] PN-EN 1822-1:2001 Wysoko skuteczne filtry powietrza (HEPA i HLEPA). Część 1: Klasyfikacja, badanie parametrów, znakowanie
 [6] Industrial application of nanomaterials – chances and risks. Technological analysis. Red. W. Luther, VDI Technologiezentrum, Düsseldorf 2004
 [7] Jankowska E. Determination of filtration efficiency with OPC and CPC counters. "Journal of Aerosol Science", vol. II, 2004