

dr inż. ELŻBIETA JANKOWSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy

Środki ochrony zbiorowej przed zapyleniem – filtry powietrza

Dobór odpowiednich środków ochrony zbiorowej przed zapyleniem jest istotnym zagadnieniem w systemach zarządzania jakością, środowiskiem oraz bezpieczeństwem i higieną pracy (rys. 1).

Środki ochrony zbiorowej przed zapyleniem obejmują systemy wentylacji mechanicznej ogólnej oraz instalacje i urządzenia wentylacji mechanicznej miejscowej wyposażone we właściwe układy filtracyjne.

Do oczyszczania powietrza są stosowane różne układy filtracyjne w zależności od wymaganego stopnia czystości powietrza doprowadzanego lub odprowadzanego z pomieszczeń przez systemy lub instalacje wentylacyjne. Ze względu na wysokie wymagania stawiane czystości powietrza stosowane są wielostopniowe układy filtracyjne (rys. 2).

Filtry wstępne są wykorzystywane do oczyszczania powietrza z cząstek o stosunkowo dużych wymiarach i dzięki temu umożliwiają użytkowanie droższych filtrów dokładnych i/lub filtrów wysoko skutecznych przez dłuższy czas. Wysoko skuteczne filtry powietrza są stosowane do oczyszczania powietrza z cząstek submikronowych, szczególnie szkodliwych dla ludzi i niebezpiecznych dla nowoczesnych technologii.

Metody badania i zasady klasyfikacji filtrów powietrza

Podstawowymi wskaźnikami użytkowymi filtrów powietrza są:

– **skuteczność filtru**, określająca jego zdolność do oczyszczania powietrza z cząstek zanieczyszczeń o danym rozkładzie wymiarowym,

– **opory przepływu filtru**, które mają istotny wpływ na dobór urządzeń wprowadzających powietrze w ruch przy przepływie przez przegrodę filtrującą.

Podział filtrów powietrza na klasy jest dokonywany na podstawie ich skuteczności filtracji, określonej przy użyciu adekwatnych do typu badań aerozoli testowych. Metody badania i zasady klasyfikacji filtrów powietrza stosowanych w systemach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych są opisane w normach i projektach norm przedstawionych na rys. 3.

Metody badania oraz zasady klasyfikacji wstępnych i dokładnych filtrów powietrza

Filtry wstępne (klasy G1-G4) zwykle są stosowane w systemach wentylacji i klimatyzacji pomieszczeń o przeciętnych wymaganiach czystości powietrza (np. hotele, restauracje, domy towarowe, sale koncertowe) i w systemach pomieszczeń o wysokich wymaganiach czystości powietrza jako filtr wstępny przed filtrami o wyższej skuteczności filtracji.

Filtry dokładne (klasy F5-F9) są stosowane jako ostatni stopień filtracji w systemach wentylacji i klimatyzacji pomieszczeń o wysokich wymaganiach czystości powietrza (np. szpitale, kabiny lakiernicze, pomieszczenia czyste klasy M7, M6.5 [13]) i w systemach wentylacji pomieszczeń o bardzo wysokich wymaganiach czystości powietrza przed filtrami wysoko skutecznymi. Podział na klasy czystości pomieszczeń, wg Federal Standard 209E [13] przedstawiono w tabeli 1.

Metody określania skuteczności filtrów wstępnych (klasy G1-G4) i filtrów dokładnych (klasy F5-F9) są zawarte w polskiej normie PN-EN 779:1998 [4]. Metody opisane w tej normie dotyczą badań filtrów, dla których skuteczność filtracji określona testem pyłu atmosferycznego (przy nominalnych strumieniach



Rys. 1. Rola środków ochrony zbiorowej przed zapyleniem w systemach zarządzania jakością, środowiskiem oraz bezpieczeństwem i higieną pracy



Rys. 2. Wielostopniowy układ filtracyjny

objętości powietrza w przedziale od 850 m³/h do 5000 m³/h) jest mniejsza niż 98%.

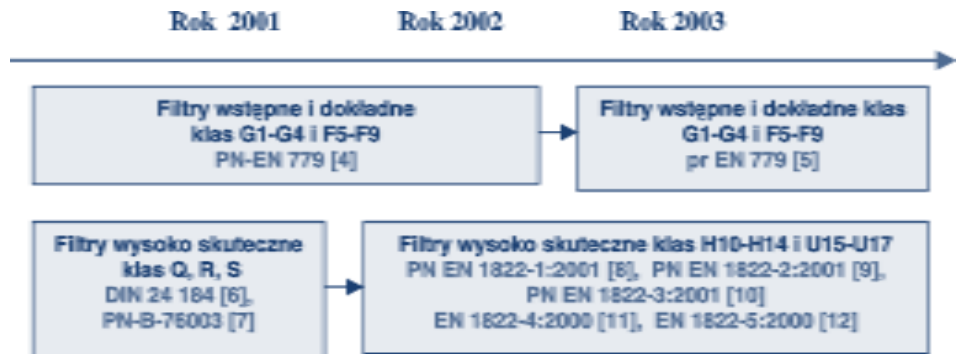
Skuteczność oczyszczania filtrów klasy G1-G4 jest wyznaczana metodą pyłu syntetycznego z zależności między masą pyłu dostarczonego do badanego filtra a masą pyłu zatrzymanego przez filtr pomiarowy (metoda gravimetryczna). Jako pył testowy jest stosowana mieszanina pyłu kwarcowego, sadzy oraz krótkich włókien bawełnianych o długości mniejszej niż 4 mm, tzw. lintersów.

Filtry klasy F5-F9 są badane metodą pyłu atmosferycznego. Skuteczność filtracji jest wyznaczana na podstawie określenia stężenia aerozolu przed i za badanym filtrem metodą pośrednią przez pomiar względnej przepuszczalności światła krążków bibuły filtracyjnej, umieszczonych w sondach odpowiednio przed i za badanym filtrem. Pył atmosferyczny jest pobierany w sposób eliminujący wszelkie szkodliwe wpływy takich czynników, jak: wiatr, zanieczyszczenia przemysłowe, spaliny itp. Klasyfikację filtrów powietrza wg normy PN-EN 779:1998 [4] przedstawiono w tabeli 2.

Z uwagi na zbyt ogólną informację o wymiarach cząstek aerozolu atmosferycznego, a także różny rozkład wymiarowy aerozolu atmosferycznego oraz różne jego własności optyczne, uzależnione od położenia geograficznego laboratorium badawczego i pory dnia pobierania aerozolu atmosferycznego, obecnie jest opracowywany projekt nowej normy europejskiej – prEN 779 [5].

Filtry wstępne będą nadal badane testem pyłu syntetycznego, natomiast do badania filtrów dokładnych zalecanym aerozolem testowym będzie aerozol DHES (serbacynian dietyloheksylu). Skuteczność filtrów dokładnych będzie określana metodą zliczania cząstek poprzez pomiar ich stężeń liczbowych przed i za badanym filtrem. Klasyfikację filtrów zgodnie z projektem normy prEN 779 [5] przedstawiono w tabeli 3.

Projekt nowej normy europejskiej



Rys. 3. Metody badania i zasady klasyfikacji filtrów powietrza w Polsce w latach 2001-2003

Tabela 1

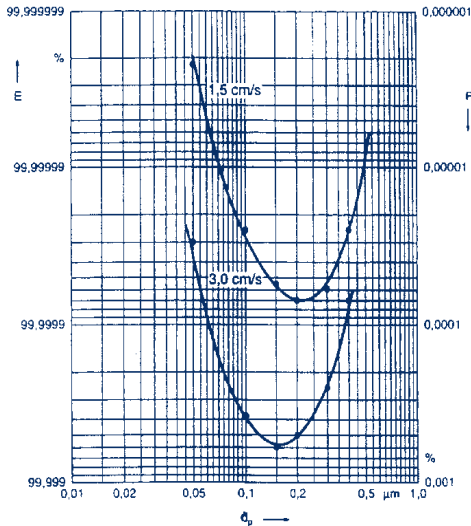
KLASY CZYSTOŚCI POMIESZCZEŃ

Nazwa klasy		Maksymalna liczba cząstek w 1 m ³ powietrza o wymiarze równym lub większym od wymiaru granicznego				
SI	Angielska	0,1 μm	0,2 μm	0,3 μm	0,5 μm	5 μm
M1		350	75,7	30,9	10,0	-
M1.5	1	1 240	265	106	35,3	-
M2		3 500	757	309	100	-
M2.5	10	12 400	2 650	1 060	353	-
M3		35 000	7 570	3 090	1 000	-
M3.5	100	-	26 500	10 600	3 530	-
M4		-	75 700	30 900	10 000	-
M4.5	1 000	-	-	-	35 300	247
M5		-	-	-	100 000	618
M5.5	10 000	-	-	-	353 000	2 470
M6		-	-	-	1 000 000	6 180
M6.5	100 000	-	-	-	3 530 000	24 700
M7		-	-	-	10 000 000	61 800

Tabela 2

KLASYFIKACJA FILTRÓW POWIETRZA ZGODNIE Z NORMĄ PN-EN 779

Początkowa skuteczność określona testem pyłu atmosferycznego E _A , %		E _A < 20%	E _A ≥ 20%
skuteczność filtracji		średnia skuteczność określona testem pyłu syntetycznego A _m , %	średnia skuteczność określona testem pyłu atmosferycznego E _m , %
grupa filtru	klasa filtru	zakresy klas	
Wstępne (G)	G1	A _m < 65	-
	G2	65 ≤ A _m < 80	-
	G3	80 ≤ A _m < 90	-
	G4	90 ≤ A _m	-
Dokładne (F)	F5	-	40 ≤ E _m < 60
	F6	-	60 ≤ E _m < 80
	F7	-	80 ≤ E _m < 90
	F8	-	90 ≤ E _m < 95
	F9	-	95 ≤ E _m



Rys. 4. Przykładowa zależność skuteczności filtracji (E) i penetracji (P) materiału filtracyjnego stosowanego w filtrze powietrza typu ULPA w funkcji średnicy cząstek d_p dla dwóch różnych prędkości przepływu powietrza [8]

prEN 779 [5] jest obecnie w końcowej fazie opracowywania w ramach działalności Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN/TC 195 „Filtry do oczyszczania powietrza”.

Metody badania i zasady klasyfikacji wysoko skutecznych filtrów powietrza

Wysoko skuteczne filtry powietrza stosuje się jako ostatni stopień filtracji w systemach wentylacji i klimatyzacji pomieszczeń czystych o klasach czystości wyższych niż M6 [13] (np. sterylne sale operacyjne, produkcja leków i surowic, produkcja taśm filmowych i magnetycznych, pomieszczenia produkcji mikroelektroniki, siłownie jądrowe).

W Polsce wysoko skuteczne filtry powietrza są badane zgodnie z zaleceniami zawartymi w normach PN-B-76003:1996 [7] i DIN 24 184:1990 [6]. Wysoko skuteczne filtry powietrza klasy Q, R i S bada się metodą aerozolu mgły olejowej. Penetracja filtrów jest wyznaczana na podstawie określenia stężenia aerozolu przed i za badanym filtrem metodą pośrednią, na podstawie pomiaru intensywności rozproszenia światła przez przepływający

KLASYFIKACJA FILTRÓW POWIETRZA ZGODNIE Z prEN 779

Tabela 3

Klasa filtru	Końcowe opory przepływu	Średnia skuteczność określona testem pyłu syntetycznego $A_m, \%$	Średnia skuteczność dla cząstek o wymiarach $0,4 \mu m$ $E_m, \%$
G1	250 Pa	$50 \leq A_m < 65$	-
G2	250 Pa	$65 \leq A_m < 80$	-
G3	250 Pa	$80 \leq A_m < 90$	-
G4	250 Pa	$90 \leq A_m$	-
F5	450 Pa	-	$40 \leq E_m < 60$
F6	450 Pa	-	$60 \leq E_m < 80$
F7	450 Pa	-	$80 \leq E_m < 90$
F8	450 Pa	-	$90 \leq E_m < 95$
F9	450 Pa	-	$95 \leq E_m$

PODZIAŁ FILTRÓW WYSOKO SKUTECZNYCH NA KLASY ZGODNIE Z NORMĄ DIN 24 184

Tabela 4

Klasa filtru	Wartość graniczna penetracji, %		Badanie szczelności
Q	D_1	15	nie wymaga się
R	D_2	2	nie wymaga się
S	D_3	0,03	nie może być widoczne gołym okiem „struną” oleju
	$D_{...}$	0,08	

KLASYFIKACJA FILTRÓW POWIETRZA TYPU HEPA I ULPA ZGODNIE Z NORMĄ PN-EN 1822-1

Tabela 5

Klasa filtru	Całkowita		Miejscowa	
	skuteczność, %	penetracja, %	skuteczność, %	penetracja, %
H10	85	15	-	-
H11	95	5	-	-
H12	99,5	0,5	-	-
H13	99,95	0,05	99,75	0,25
H14	99,995	0,005	99,975	0,025
U15	99,9995	0,0005	99,997 5	0,002 5
U16	99,999 95	0,000 05	99,999 75	0,000 25
U17	99,999 995	0,000 005	99,999 9	0,000 1

aerozol. Wymiary cząstek mgły technicznej czystego oleju parafinowego nie przekraczają 1 mm, a większość cząstek zawiera się w przedziale 0,3 | 0,5 mm. Podział filtrów wysoko skutecznych na klasy zgodnie z DIN 24 184:1990 [6] przedstawiono w tabeli 4.

W ramach działalności Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN/TC 195 opracowano normę europejską EN 1822 pt. *Wysoko skuteczne filtry powietrza (HEPA i ULPA)* [8-12]. Norma ta składa się z pięciu części, ujmujących w

sposób kompleksowy procedury badania wysoko skutecznych materiałów filtracyjnych i filtrów powietrza oraz zasady klasyfikacji filtrów typu HEPA (klasy H10-H14) i typu ULPA (klasy U15-U17).

Skuteczność filtracji jest wyznaczana przez określenie liczbowego stężenia cząstek aerozolu testowego przed i za badanym filtrem, z wykorzystaniem odpowiednich liczników cząstek w zależności od rodzaju zastosowanego aerozolu testowego (monodispersyjny lub polidispersyjny). Zalecanym aerozolem testowym

wym jest aerozol sebacynianu dwuetyloheksylu (DEHS).

W celu przeprowadzenia kompleksowych badań filtrów typu HEPA i ULPA należy przeprowadzić następujące pomiary określające:

1) skuteczność materiału filtracyjnego – przy nominalnej prędkości przepływu – dla zakresu cząstek, zawierających cząstki najbardziej penetrujące (MPPS) przez badany materiał filtracyjny, a następnie z krzywej zależności skuteczności filtracji w funkcji średnicy cząstek (rys. 4 – przykładowa zależność odnosząca się do materiału filtracyjnego stosowanego w filtrze typu ULPA [8]), określenie cząstek MPPS, dla których skuteczność materiału filtracyjnego osiąga minimum,

2) przeciek filtru – wartości miejscowej skuteczności i penetracji – dla nominalnego strumienia objętości powietrza, przy zastosowaniu aerozolu testowego o średniej średnicy cząstek odpowiadającej wymiarowi cząstek MPPS,

3) skuteczność filtru (wartości całkowitej skuteczności i penetracji), dla nominalnego strumienia objętości, przy zastosowaniu aerozolu testowego o średniej średnicy cząstek odpowiadającej wymiarowi cząstek MPPS. Każdy z wyżej wymienionych pomiarów może być wykonywany jako pomiar niezależny.

Na podstawie wartości miejscowych skuteczności i penetracji, a także wartości całkowitych skuteczności i penetracji, określa się klasę filtru zgodnie z tabelą 5. i wymaganiami zawartymi w PN-EN 1822-1 [8].

W Polsce prace normalizacyjne z zakresu badania wysoko skutecznych materiałów filtracyjnych i filtrów powietrza stosowanych w systemach wentylacji i klimatyzacji, zmierzają w kierunku opracowywania polskich norm, będących adaptacją norm europejskich. Zostały już opracowane polskie normy: PN-EN 1822-1:2001 [8], PN-EN 1822-2:2001 [9] i PN-EN 1822-3:2001 [10]. Obecnie trwają prace nad opracowaniem polskich projektów norm: EN 1822-4:2000 [11] i EN 1822-5:2000 [12].

WYKAZ NORM

- [1] PN-N-18001:1999. *Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Wymagania*
- [2] ISO 9001:2000. *Quality management systems – Requirements*
- [3] PN-EN ISO 14001:1998. *Systemy zarządzania środowiskowego. Specyfikacja i wytyczne stosowania*
- [4] PN-EN 779:1998. *Przeciwpyłowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej. Wymagania, badania, oznaczenie*
- [5] pr EN 779:2000. *Particulate air filters for general ventilation. Determination of the filtration performance*
- [6] DIN 24 184:1990. *Typprüfung von Schwebstofffiltern. Prüfung mit Paraffinöinebel als Prüfaerosol*
- [7] PN-B-76003:1996. *Wentylacja i klimatyzacja. Filtry powietrza. Klasy jakości*
- [8] PN-EN 1822-1:2001. *Wysoko skuteczne filtry powietrza (HEPA i HŁPA). Klasyfikacja, badanie parametrów, znakowanie*
- [9] PN-EN 1822-2:2001. *Wysoko skuteczne filtry powietrza (HEPA i HŁPA). Wytwarzanie aerozolu, przyrządy pomiarowe, statystyka zliczania cząstek*
- [10] PN-EN 1822-3:2001. *Wysoko skuteczne filtry powietrza (HEPA i HŁPA). Badanie płaskiego materiału filtracyjnego*
- [11] EN 1822-4:2000. *High efficiency particulate air filters (HEPA i ULPA). Part 4: Determining leakage of filter elements (Scan method)*
- [12] EN 1822-5:2000. *High efficiency particulate air filters (HEPA i ULPA). Part 5: Determining the efficiency of filter elements*
- [13] Federal Standard 209E. *Airborne Particulate Cleanliness Classes in Cleanrooms and Clean Zones*