

dr inż. TOMASZ JANKOWSKI
 dr inż. SZYMON JAKUBIAK
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: tojan@ciop.pl
 DOI: 10.5604/01.3001.0012.0969

Parametry użytkowe filtrów powietrza w ogólnej wentylacji i klimatyzacji – nowe wymagania norm i wyniki badań własnych

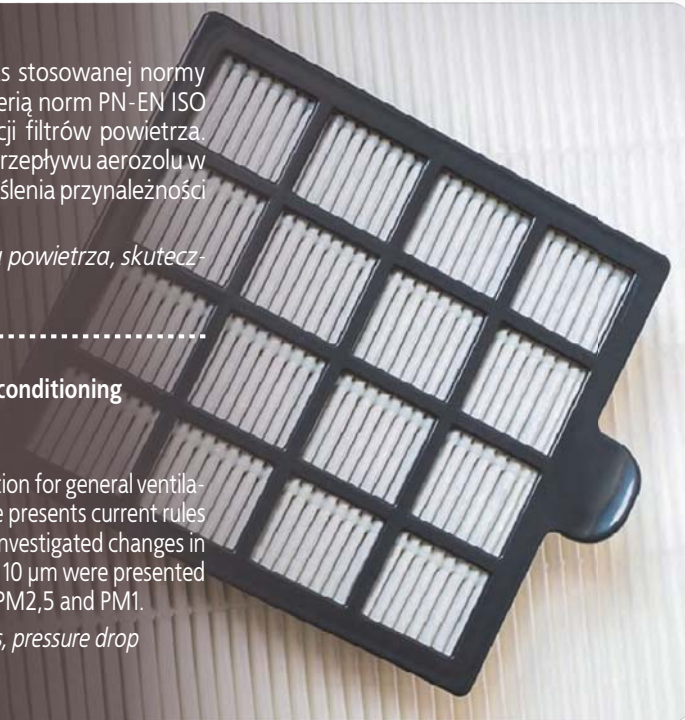
W artykule omówiono prace związane z zastąpieniem dotychczas stosowanej normy dotyczącej filtracji powietrza dla wentylacji ogólnej (PN-EN 779) serią norm PN-EN ISO 16890. Zaprezentowano aktualne zasady badania oraz klasyfikacji filtrów powietrza. Przedstawiono wyniki badania zmian skuteczności filtracji i oporu przepływu aerozolu w zakresie cząstek stałych o wielkości od 0,3 μm do 10 μm , w celu określenia przynależności przykładowego filtra powietrza do grupy PM10, PM2,5 lub PM1.

Słowa kluczowe: wentylacja, filtracja powietrza, zanieczyszczenia powietrza, skuteczność filtrów powietrza, opory przepływu

Utility parameters of air filters used in general ventilation and air conditioning systems – new requirements of standards and results of own research

The article discusses the replacement of the existing standard for air filtration for general ventilation (PN-EN 779) with a series of standards PN-EN ISO 16890. This article presents current rules for testing and classification of air filters. The results of the study which investigated changes in filtration efficiency and aerosol flow resistance in the range of 0.3 μm to 10 μm were presented to determine the inclusion of an exemplary air filter in the group PM10, PM2,5 and PM1.

Keywords: ventilation, air filtration, air pollutants, efficiency of air filters, pressure drop



Fot. vchal/Bigstockphoto

Wstęp

Jednym z istotnych czynników szkodliwych dla zdrowia człowieka są cząstki aerozoli obecnych w powietrzu. Podejmowanie działań zmierzających do eliminowania tego rodzaju zagrożenia w środowisku pracy jest zdeterminowane wymaganiami dyrektyw Unii Europejskiej (89/391/EWG, 98/24/WE, 2001/45/WE) [1,2,3], konwencji nr 148 Międzynarodowej Organizacji Pracy [4] oraz rozporządzeniami prawa krajowego [5,6].

Zarówno w Polsce, jak i na świecie podstawowym celem pracodawców i osób kierujących pracownikami powinno być zapewnienie

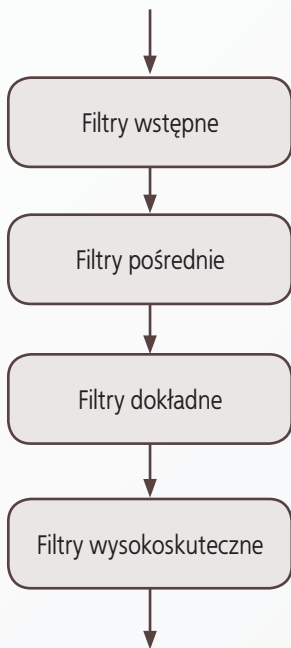
użytkownikom pomieszczeń pracy ochrony przed ryzykiem związanym z narażeniem na cząstki aerozoli.

Powszechnie znana i stosowana dotychczas klasyfikacja przeciwpyłowych filtrów powietrza, używanych w wentylacji ogólnej, była ujęta w PN-EN 779, której ostatnie wydanie ukazało się w 2012 r. [7]. W maju 2017 r. zastąpiła ją seria czterech norm: PN-EN ISO 16890 [8,9,10,11]. Dotyczą one: nowego systemu klasyfikacji filtrów, za podstawę przyjmującego skuteczność filtracji odniesionej do określonych wielkości cząstek pyłu; wytwarzania aerozolu testowego; aparatury i budowy stanowiska badawczego; metody badań skuteczności

filtracji oraz oporu przepływu; metody kondycjonowania filtra do wyznaczenia minimalnej testowej przedziałowej skuteczności filtracji, gdy jest ona zależna od zjawiska elektrostatycznego zatrzymywania cząstek.

Sikończyk i Wojtas [12-15] omówili wymagania dla producentów filtrów powietrza oraz konsekwencje wprowadzenia czterech norm PN-EN ISO 16890 do stosowania w Polsce [8-11]. Kolejnym krokiem jest edukowanie osób mających do czynienia z filtrami powietrza w instalacjach wentylacji i klimatyzacji powietrza oraz przygotowanie przez laboratoria nowych procedur i stanowisk badawczych do nowych wymagań i klasyfikacji.

Oprac. autorów



Rys. 1. Wielostopniowy układ filtracyjny
Fig. 1. Multilayer filtration composite

Normy i wymagania dotyczące filtracji powietrza

Podstawowymi wskaźnikami użytkowymi filtrów powietrza są: skuteczność filtracji i opór przepływu. Parametry te zależą od:

- właściwości pyłów (rozkładu wymiarowego i kształtu cząstek, stężenia aerozolu, właściwości elektrostatycznych, właściwości chemicznych, zwilżalności pyłu)
- właściwości przepływającego powietrza (temperatury, wilgotności, prędkości)
- parametrów strukturalnych filtra (jego konstrukcji oraz właściwości zastosowanego materiału filtracyjnego).

Skuteczność filtra jest parametrem określającym jego zdolność do oczyszczania powietrza z cząstek zanieczyszczeń o danym rozkładzie wymiarowym. Opór przepływu powietrza przez filtr ma natomiast istotny wpływ na dobór urządzeń wprowadzających powietrze w ruch przy przepływie przez prze-grodę filtrującą.

To, jakie układy filtracyjne są stosowane, zależy m.in. od wymaganego stopnia czystości powietrza doprowadzanego lub odprowadzanego z pomieszczeń przez instalacje wentylacyjne. Wspomniane układy projektuje się na podstawie danych o parametrach użytkowych filtrów powietrza, określonych podczas badań znormalizowanymi metodami, stosowanymi do ich klasyfikacji.

Wymagania dotyczące metod badania i zasad klasyfikacji filtrów powietrza stosowanych do instalacji wentylacji są określone w normach europejskich, które zostały wdrożone jako normy polskie.

Tabela 1. Klasyfikacja filtrów powietrza zgodnie z PN-EN ISO 16890-1:2017 [8]

Table 1. Classification of air filters in accordance with the PN-EN ISO 16890-1:2017 [8]

Oznaczenie grupy filtrów	Wymagania			Wartość odniesienia do klasy filtra
	ePM _{1,min}	ePM _{2,5,min}	ePM ₁₀	
ISO filtr wstępny	-	-	< 50	Początkowe, grawimetryczne zatrzymanie
ISO ePM ₁₀	-	-	≥ 50	ePM ₁₀
ISO ePM _{2,5}	-	≥ 50	-	ePM _{2,5}
ISO ePM ₁	≥ 50	-	-	ePM ₁

Tabela 2. Klasyfikacja filtrów powietrza typu EPA, typu HEPA i typu ULPA zgodnie z PN-EN 1822-1:2009 [16]

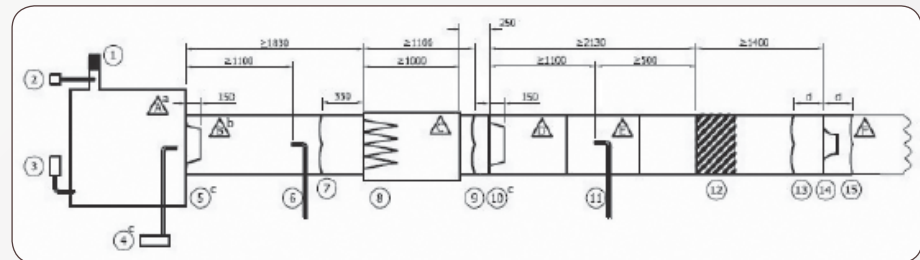
Table 2. Classification of air filters type EPA, HEPA and ULPA in accordance with the PN-EN 1822-1:2009 [16]

Klasa filtru	Wartość całkowita		Wartość miejscowa	
	skuteczność	penetracja	skuteczność	penetracja
	%	%	%	%
E10	≥ 85	≤ 15	-	-
E11	≥ 95	≤ 5	-	-
E12	≥ 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	≥ 99,9975	≤ 0,0025
U16	≥ 99,99995	≤ 0,00005	≥ 99,99975	≤ 0,00025
U17	≥ 99,999995	≤ 0,000005	≥ 99,99999	≤ 0,0001

Tabela 3. Klasy czystości pomieszczeń wg PN-EN ISO 14644-1:2016-03 [19]

Table 3. Room cleanliness classes in accordance with the PN-EN ISO 14644-1:2016-03 [19]

Numer klasy ISO (N)	Maksymalne, dopuszczalne stężenie (cząstki/m ³ powietrza) dla cząstek pyłu o wielkości równej lub większej od podanych poniżej					
	0,1 μm	0,2 μm	0,3 μm	0,5 μm	1 μm	5 μm
ISO 1	10	2	-	-	-	-
ISO 2	100	24	10	4	-	-
ISO 3	1 000	237	102	35	8	-
ISO 4	10 000	2 370	1 020	352	83	-
ISO 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
ISO 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
ISO 7	-	-	-	352 000	83 200	2 930
ISO 8	-	-	-	3 520 000	832 000	29 300
ISO 9	-	-	-	35 200 000	8 320 000	293 000



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego (1,12 – wysokoskuteczny filtr powietrza odpowiednio przed i za badanym filtrem; 2,3,4 – dysza generująca odpowiednio aerozol cieczy, aerozol ciał stałych, pył testowy; 5,10 – kryza mieszająca odpowiednio przed i za badanym filtrem; 6,11 – sonda pomiarowa odpowiednio przed i za badanym filtrem; 7,9 – pomiar spadku ciśnienia na badanym filtrze; 8 – badany filtr powietrza; 13,15 – pomiar spadku ciśnienia na dyszy pomiarowej; 14 – dysza pomiarowa [9])

Fig. 2. Research stand schematics (1,12 – highly effective air filter placed in front of and behind the tested filter, respectively; 2,3,4 – a nozzle creating liquid aerosol, solid aerosol, testing dust, respectively; 5,10 – mixing grill in front of and behind the tested filter, respectively; 6,11 – measurement probe in front of and behind the tested filter, respectively; 7,9 – a measurement of the pressure drop on the tested filter; 8 – the tested filter; 13,15 – test nozzle pressure drop measurement; 14 – test nozzle [9])

Zgodnie z normami serii PN-EN 1822-1:2009 [16] i PN-EN 779:2012 [7], ustanowionymi w ramach prac Komitetu Technicznego TC 195 Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego, ze względu na klasy filtry powietrza dzielimy na (rys. 1.):

- wstępne typu G, pośrednie typu M, dokładne typu F

- wysokoskuteczne typu EPA (E), HEPA (H) i typu ULPA (U).

W 2016 r. Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO) przygotowała serię nowych norm, dotyczących badania i klasyfikowania filtrów powietrza, stosowanych w wentylacji ogólnej (EN ISO 16890-1; EN ISO 16890-2; EN ISO 16890-3; EN ISO 16890-4), [8-11].

Wdrożenie serii norm PN-EN ISO 16890 w 2017 r. w Polsce spowodowało wycofanie PN-EN 779:2012 [7]. W związku z potrzebą dostosowania aerozolu testowego do rzeczywistego aerozolu atmosferycznego oraz z uwagi na skutki zdrowotne związane z wdychaniem przez człowieka zanieczyszczonego powietrza, w normach zamieszczono nowy sposób testowania filtrów powietrza. Odnosi się on teraz do trzech różnych zakresów wymiarów cząstek pyłu PM (*particulate matter*):

- PM₁₀ w stosunku do cząstek o wymiarach od 0,3 do 10 μm
- PM_{2,5} w stosunku do cząstek o wymiarach od 0,3 do 2,5 μm
- PM₁ w stosunku do cząstek o wymiarach od 0,3 do 1 μm.

Klasyfikacja filtrów powietrza zgodnie z PN-EN ISO 16890-1:2017 przedstawiona została w tab. 1. Filtry powietrza są klasyfikowane na podstawie ich początkowej, grawimetrycznego zatrzymania, skuteczności filtracji ePM₁₀, ePM_{2,5}, ePM₁ oraz minimalnej skuteczności filtracji ePM_{1,min} i ePM_{2,5,min}. Filtr o niskiej skuteczności filtracji uzyskanej w wyniku testu zatrzymania pyłu syntetycznego L2 o składzie zgodnym z ISO 15957, nie zostaje nadana klasa ePM_x.

Specjaliści, m.in. Sikończuk [12,13], zwrócili uwagę, że nowa klasyfikacja filtrów umożliwia łatwe określenie minimalnej wymaganej skuteczności filtracji w zakresie danej frakcji PM_x (X = PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀) przy znajomości stężenia tej frakcji PM_x przed filtrem oraz założonego (wymaganego) stężenia C (PM_x) za filtrem:

$$ePM_x = 1 - C_{wylot} (PM_x) / C_{wlot} (PM_x)$$

Podobieństwa w wymaganiach poprzedniej i aktualnie obowiązującej normy opisał Wojtas – np. odnośnie do badanego wymiaru modułu filtra 610x610 mm czy nominalnego strumienia powietrza V = 3400 m³/h [14].

Autorzy publikacji zwracają uwagę, że nie ma możliwości prostego porównania lub przeliczenia klasy filtra sklasyfikowanego wg wymagań poprzedniej i nowej normy [12,14]. Konieczne jest szczególnie porównanie wyników badań [17]. Badania takie zostały przeprowadzone przez Eurovent i opublikowane w postaci rekomendacji dostępnych na stronie internetowej [18]. Z kolei w innym artykule Wojtasa znaleźć można propozycję wskaźnika oceny filtra łączącej w sobie zarówno skuteczność usuwania zanieczyszczeń, jak i koszty eksploatacyjne, mającego na celu prezentację charakterystyki filtrów w formie zrozumiałej dla każdego odbiorcy [15].

Klasyfikacje wysokoskutecznych filtrów powietrza typu E, H i U, zgodną z normami PN-EN 1822-1:2009, pokazano w tab. 2. [16]. Klasa filtra jest określana na podstawie wartości całkowitych i miejscowych skuteczności i penetracji filtracji. Filtry wysokoskuteczne są stosowane jako ostatni stopień w war-

Tabela 4. Ogólne wyniki badania filtra powietrza (wg PN-EN ISO 16890), [8-11]

Table 4. General results of the air filter test (in accordance with PN-EN ISO 16890), [8-11]

Typ: włóknina	Powierzchnia filtracyjna (m ²): 0,30	Wymiary (sz. x wys. x gł.) (mm): 560 x 535 x 50	
INFORMACJE O BADANIU ORAZ ZAŁĄCZNIKACH			
Natężenie przepływu powietrza (m ³ /s): 0,944	Raport z badań wg ISO 16890-2		
	Raport z badań wg ISO 16890-3 (opcjonalnie)		
	Raport z badań wg ISO 16890-4		
WYNIKI			
Początkowe opory przepływu (Pa): 121	ePM _{10,min} 20,16%	ePM _{2,5,min} 35,57%	ePM _{4,min} 41,16%
	ePM ₁ 19,21%	ePM _{2,5} 33,96%	ePM ₄ 39,10%
Spostrzeżenia			
			<p>E_i – początkowa skuteczność frakcyjna (ISO 16890-2)</p> <p>E_{D,i} – skuteczność frakcyjna po kondycjonowaniu (ISO 16890-4)</p> <p>E_{A,i} – średnia skuteczność frakcyjna (ISO 16890-1)</p>
<p>UWAGA. Przedstawione wyniki odnoszą się wyłącznie do filtra w podanych warunkach prowadzenia badań. Wyniki skuteczności filtracji nie mogą służyć do ilościowego szacowania skuteczności w rzeczywistych warunkach użytkowania.</p>			

Tabela 5. Zależność podstawowych parametrów filtracyjnych od wymiarów cząstek (wg PN-EN ISO 16890) [8-11]

Table 5. Dependence of basic filtration parameters on particle size (in accordance with PN-EN ISO 16890), [8-11]

i	d _i μm	d _{i+1} μm	\bar{d}_i μm	$\Delta \ln d_i$ μm	E _i %	E _{D,i} %	E _{A,i} %
1	0,3	0,4	0,35	0,29	6	7	7
2	0,4	0,55	0,47	0,32	13	15	14
3	0,55	0,7	0,62	0,24	25	27	26
4	0,7	1	0,84	0,36	39	42	41
5	1	1,3	1,14	0,26	52	57	55
6	1,3	1,6	1,44	0,21	59	63	61
7	1,6	2,2	1,88	0,32	67	70	68
8	2,2	3	2,57	0,31	71	81	76
9	3	4	3,46	0,29	76	87	81
10	4	5,5	4,69	0,32	71	87	79
11	5,5	7	6,20	0,24	74	85	80
12	7	10	8,37	0,36	79	85	82

Objaśnienie symboli:

- d_i – dolna granica wielkości cząstek w przedziale i, μm
- d_{i+1} – górna granica wielkości cząstek w przedziale i, μm
- \bar{d}_i – średnia geometryczna wielkość cząstek w przedziale i, μm
- $\Delta \ln d_i$ – szerokość logarytmiczna przedziału wielkości cząstek i; ln to logarytm naturalny o podstawie e, gdzie e to niewymierna, przestępna i bezwymiarowa stała w przybliżeniu równa 2,718281828; $\Delta \ln d_i = \ln(d_{i+1}/d_i)$
- E_i – początkowa skuteczność frakcyjna dla cząstek z przedziału i dla czystego i niekondycjonowanego filtra, %
- E_{D,i} – skuteczność frakcyjna dla cząstek z przedziału i dla filtra po kondycjonowaniu w iPrOH, %
- E_{A,i} – średnia skuteczność frakcyjna dla cząstek z przedziału i, $E_{A,i} = (E_i + E_{D,i})/2$, %

stwowych kompozytach włóknin systemów wentylacji w pomieszczeniach o bardzo wysokich wymaganiach czystości powietrza. Skuteczność całkowita, określana w odniesieniu do filtrów typu E, H i U, to skuteczność

uśredniona w stosunku do całej powierzchni czołowej filtra w danych warunkach eksploatacyjnych. Natomiast skuteczność miejscowa jest skutecznością w określonym punkcie filtra, w danych warunkach eksploatacyjnych.

Tabela 6. Zależność podstawowych parametrów filtracyjnych od poszczególnych zakresów wymiarów cząstek (wg PN-EN ISO 16890), [8-11]

Table 6. Dependence of basic filtration parameters on different particle size ranges (in accordance with PN-EN ISO 16890), [8-11]

i	d_i μm	$\Delta \ln d_i$ μm	rozkład miejscowy $q_{m,i}(d_i)$	$q_m(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{D,i} \cdot q_m(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{A,i} \cdot q_m(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i$	$ePM_{x, min}$ %	ePM_x %
1	0,35	0,29	0,22627	0,06562	0,47324	0,43817	$ePM_{1, min}$	ePM_1
2	0,47	0,32	0,19891	0,06365	0,97261	0,91298		
3	0,62	0,24	0,15837	0,03801	1,01574	0,97391		
4	0,84	0,36	0,11522	0,04148	1,74644	1,68451		
Σ wierszy 1-4				0,20876	4,20803	4,00957	20,16	19,21
5	1,14	0,26	0,08503	0,02211	1,25780	1,20632	$ePM_{2,5, min}$	$ePM_{2,5}$
6	1,44	0,21	0,07618	0,01600	1,0099	0,97453		
7	1,88	0,32	0,08022	0,02567	1,80680	1,75703		
8	2,57	0,31	0,09984	0,03095	2,51267	2,36037		
Σ wierszy 1-8				0,30348	10,79521	10,30783	35,57	33,96
9	3,46	0,29	0,12688	0,03680	3,20903	2,99729	$ePM_{4, min}$	ePM_4
Σ wierszy 1-9				0,34028	14,00424	13,30512	41,16	39,10

Tabela 7. Zależność podstawowych parametrów filtracyjnych od zakresu wymiarów cząstek PM10 (wg PN-EN ISO 16890), [8-11]

Table 7. Dependence of basic filtration parameters on PM10 particle size range (in accordance with PN-EN ISO 16890), [8-11]

i	d_i μm	$\Delta \ln d_i$ μm	rozkład miejscowy $q_{m,i}(d_i)$	$q_m(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{D,i} \cdot q_m(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i$	$E_{A,i} \cdot q_m(\bar{d}_i) \cdot \Delta \ln d_i$	$ePM_{x, min}$ %	ePM_x %
1	0,35	0,29	0,09412	0,02729	0,19685	0,18226	ePM_{10}	64,72
2	0,47	0,32	0,08395	0,02686	0,41049	0,38532		
3	0,62	0,24	0,07432	0,01784	0,47667	0,45703		
4	0,84	0,36	0,07014	0,02525	1,06314	1,02545		
5	1,14	0,26	0,07628	0,01983	1,12837	1,08219		
6	1,44	0,21	0,08833	0,01855	1,17097	1,12996		
7	1,88	0,32	0,10804	0,03457	2,43339	2,36636		
8	2,57	0,31	0,13726	0,04255	3,45442	3,24504		
9	3,46	0,29	0,16708	0,04845	4,22576	3,94693		
10	4,69	0,32	0,19542	0,06253	5,44355	4,93532		
11	6,20	0,24	0,21671	0,05201	4,41819	4,13702		
12	8,37	0,36	0,23143	0,08331	7,04427	6,81760		
Σ wierszy 1-12				0,45906	31,46608	29,71049		

Tabela 8. Podsumowanie wyników badania filtru powietrza przed kondycjonowaniem (wg PN-EN ISO 16890-2:2017), [9]

Table 8. Summary of the air filter test results before conditioning (in accordance with PN-EN ISO 16890-2:2017), [9]

INFORMACJE OGÓLNE				
Informacje o użytym liczniku cząstek			Pomiar przepływu: dysza pomiarowa 7" (VIII-1170)	
Producent: TSI	Model: OPS 3330 (VIII-2053)	Górny zakres pomiarowy (cząstek/m ³): 3·10 ⁹	przetwornik ciśnienia Instytut Mechaniki Górotworu PAN No.008 (VIII-1059)	
BADANY FILTR				
		Wymiary (sz. x wys. x gł.) (mm): 560 x 535 x 50		
Typ: włóknina	Powierzchnia filtracyjna (m ²): 0,30		Budowa: filtr płaski	
Ładunek elektrostatyczny: indukowany elektrycznie	Kolor: niebieski	Spoivo: brak		
Stan filtra: nowy/czysty				
Dodatkowe informacje: filtr podłączony do zasilacza 24 V 2,1 A				
WARUNKI PROWADZENIA BADANIA				
Natężenie przepływu powietrza (m ³ /s): 0,944	Temperatura powietrza (°C): 28	Wilgotność względna (%): 40	Aerazol: cząstki stałe KCl	Obładowanie pyłem lub kondycjonowanie: brak
WYNIKI				
Opory przepływu		Skuteczność frakcyjna		
Zmierzone: 121 Pa	Początkowa waga: 139,2 g	Przedział (mm)	Zmierzona skuteczność (%)	Stężenie cząstek od strony dopływu (cząstek/dm ³)
		0,30 – 0,40	6	319305,840
		0,40 – 0,55	13	135686,300
		0,55 – 0,70	25	51702,900
		0,70 – 1,00	39	39297,800
		1,00 – 1,30	52	11160,220
		1,30 – 1,60	59	5754,180
		1,60 – 2,20	67	15432,480
		2,20 – 3,00	71	6591,900
		3,00 – 4,00	76	1751,640
		4,00 – 5,50	71	531,480
		5,50 – 7,00	74	72,160
		7,00 – 10,00	79	26,860
Sposzczenia				
UWAGA				

Badanie skuteczności i penetracji filtracji przez filtry wysokoskutekcyjne wykonuje się testem aerolu estru bis (2-etyloheksylu) kwasu sebacynowego (DEHS) lub testem aerolu estru bis (2-etyloheksylu) kwasu ftalowego (DOP).

Wysokoskutekcyjne filtry powietrza EPA (klasy E10-E12), HEPA (klasy H13-H14) i ULPA (klasy U15-U17) są stosowane jako ostatni stopień filtracji w instalacjach wentylacji pomieszczeń czystych o klasach czystości wyższych niż ISO 7 (np. sterylne sale operacyjne, produkcja leków i surowic, miejsca produkcji taśm filmowych i magnetycznych, pomieszczenia produkcji mikroelektroniki). W celu sprostania bardzo wysokim wymaganiom, stawianym czystości powietrza, są wykorzystywane wielostopniowe układy filtracyjne.

Podział na klasy czystości pomieszczeń, wg PN-EN ISO 14644-1:2016-03, pokazano w tab. 3. [19].

Przykładowe wyniki własne badania filtru powietrza stosowanego w systemach wentylacji i klimatyzacji

Celem badań, przeprowadzonych w CIOP-PIB w 2017 r., było określenie parametrów użytkowych pojedynczego filtru powietrza, zgodnie z wymaganiami PN-EN ISO 16890-1:2017 [8].

Badania przeprowadzono zgodnie z częściami drugą i czwartą normy, natomiast klasyfikację filtru wykonano na podstawie części pierwszej. Badanie skuteczności filtru przeprowadzono w odniesieniu do elektrycznie neutralizowanych stałych cząstek chlorku potasu (KCl). Podczas badań wykorzystano ge-

nerator stałych cząstek KCl (Palas AGK 2000), neutralizator ładunków cząstek KCl (TOPAS EAN 581), licznik cząstek aerozolu przed i za badanym filtrem (TSI OPS 3330), miernik temperatury i wilgotności względnej powietrza w kanale pomiarowym (LAB-EL z panelem LB 701 i sondą LB 725) oraz ciśnieniomierze elektroniczne użytkowe, wykonane przez Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, dzięki którym można było określić poziom spadku ciśnienia na filtrze oraz strumień objętości powietrza na dyszy pomiarowej w kanale.

Optyczny spektrometr wielkości cząstek TSI OPS 3330 pozwala mierzyć do trzech rzędów wielkości rozmiar cząstek w zakresie od 0,3 µm do 10 µm w szerokim zakresie stężeń od 0 do 3000 cząstek/cm³ i rozdzielczości pomiaru wielkości poniżej 5% przy 0,5 µm.

Na rys. 2. przedstawiono schemat stanowiska badawczego zgodnego z częścią drugą normy [9].

Przykładowe wyniki badania skuteczności filtracji i oporu przepływu aerozolu ujęto w tab. 4. -11.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zastosowanie badanego filtra powietrza w centrali wentylacyjnej budynku umożliwi zatrzymanie cząstek mniejszych od wymiaru 10 µm (PM10) ze skutecznością filtracji 60% (tab. 4.). Badając zależność skuteczności frakcyjnej od wielkości cząstek zaobserwowano dynamiczny wzrost wartości cząstek mniejszych od 1 µm (PM1) i 2,5 µm (PM2,5) oraz stabilizację wartości cząstek w zakresie od 2,5 µm do 10 µm.

Kondycjonowanie filtra powietrza w komorze testowej z izopropanolem (24 h) pozwoliło na zwiększenie jego skuteczności frakcyjnej w zależności od wymiarów cząstek od 4% do 23%, przy zachowaniu tych samych oporów przepływu powietrza (tab. 5., 8., 10.).

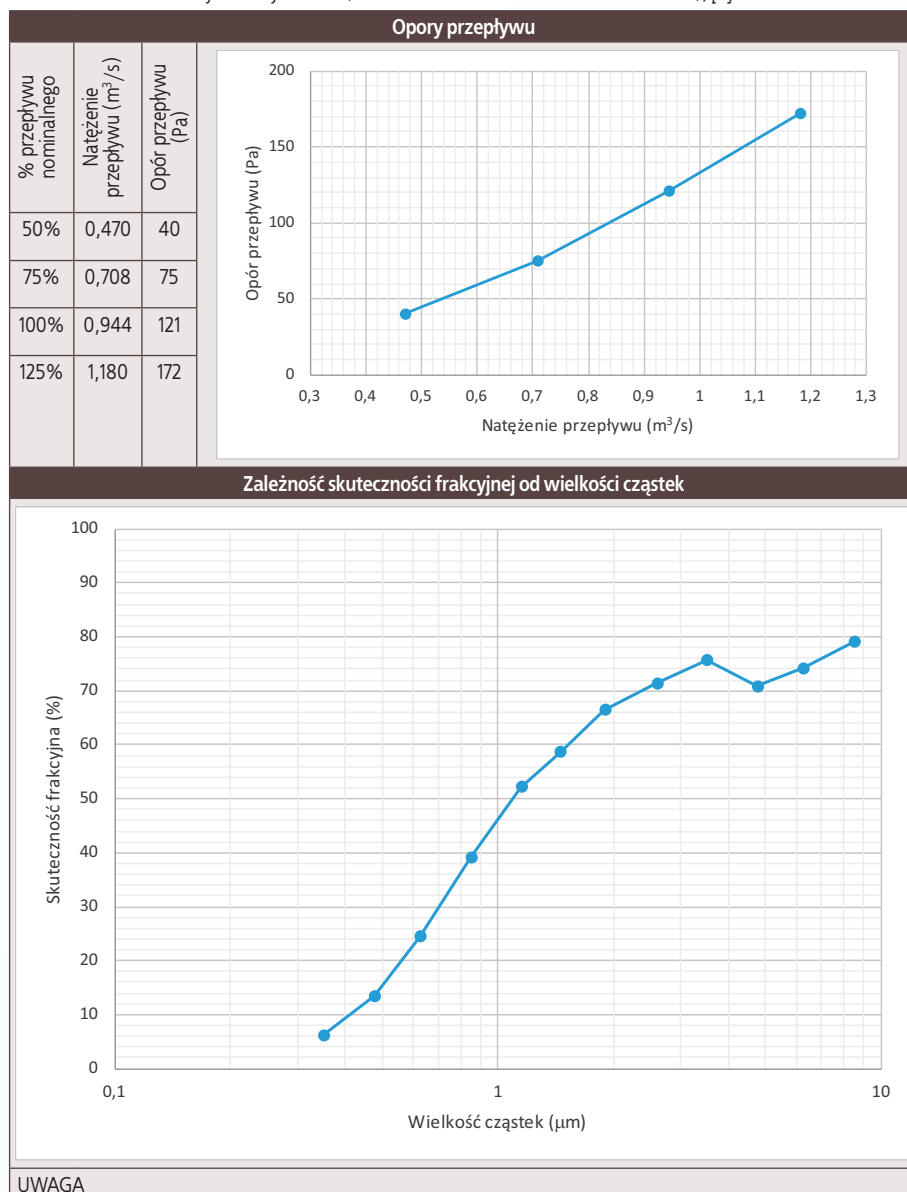
Obładowywanie aerozolem KCL spowodowało zwiększenie wagi filtra powietrza o 0,7 gramów przy jednoczesnym wzroście oporów przepływu o 7 Pa (tab. 8., 10.). W tab. 9. przedstawiono wyniki potwierdzające proporcjonalny wzrost oporów przepływu powietrza wraz ze wzrostem strumienia objętości powietrza w kanale pomiarowym.

Podsumowanie

Norma ISO 16890:2016, zastępująca dotychczas obowiązującą EN 779:2012, jest nowym globalnym standardem, dotyczącym testowania i klasyfikacji filtrów powietrza. Oznacza to dużą zmianę w sposobie oceny parametrów użytkowych filtrów powietrza. Nowa metoda testowania (wg ISO 16890:2016) za sedno przyjmuje skuteczność filtracji w odniesieniu do klas rozmiaru cząstek stałych (PM), dlatego jest kryterium lepszym niż teoretyczna EN 779:2012. W badaniu

Tabela 9. Szczegółowe wyniki badania filtra powietrza (wg PN-EN ISO 16890-2:2017), [9]

Table 9. Detailed results of the air filter test (in accordance with PN-EN ISO 16890-2:2017), [9]



wyznaczana jest skuteczność frakcyjna filtra powietrza w warunkach najmniej (24-godzinne kondycjonowanie izopropanolem) i najbardziej (stan początkowy filtracji) korzystnych, a następnie określana jest średnia wartość skuteczności frakcyjnej stanowiąca wskaźnik klasyfikujący filtr powietrza. Taka procedura badania umożliwia przetestowanie filtra powietrza w zmiennych warunkach użytkowania.

Wprowadzenie tych zmian oznacza, że standardowa wydajność, a w rezultacie również klasyfikacja filtrów, zostanie ustalona na podstawie wielkości cząstek stałych PM1, PM2,5 i PM10. Te parametry są również używane w ocenie filtrów przez Światową Organizację Zdrowia i inne organy. Na podstawie wyników testu użytkownicy będą mogli z łatwością wybrać odpowiedni dla nich filtr, dostosowany do ich indywidualnych wyma-

gań. Wraz z wprowadzeniem nowej normy, rzeczywiste warunki pracy filtrów są oceniane na podstawie ich efektywności. W poprzedniej normie (PN-EN 779:2012) pod uwagę była brana tylko wielkość cząstek 0,4 µm, natomiast w nowej normie jest to zakres cząstek stałych o wielkościach od 0,3 do 10 µm, w celu określenia przynależności filtra powietrza do grupy PM10, PM2,5 lub PM1.

Warto również dodać, że w Pracowni Aerozoli, Filtracji i Wentylacji Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego istnieje możliwość wspomagania projektowania i sprawdzania parametrów użytkowych filtrów powietrza zgodnie z wymaganiami serii norm PN-EN ISO 16890:2017, zarówno dla producentów, jak i pracowników służb eksploatacyjnych systemów wentylacji stosowanych w pomieszczeniach.

Tabela 10. Podsumowanie wyników badania filtra powietrza po kondycjonowaniu (wg PN-EN ISO 16890-2:2017), [9]
 Table 10. Summary of the air filter test results after conditioning (in accordance with PN-EN ISO 16890-2:2017), [9]

INFORMACJE OGÓLNE				
Informacje o użytym liczniku cząstek			Pomiar przepływu: dysza pomiarowa 7" (VIII-1170)	
Producent: TSI	Model: OPS 3330 (VIII-2053)	Górny zakres pomiarowy (cząstek/m ³): 3·10 ⁹	przetwornik ciśnienia Instytut Mechaniki Górotworu PAN No.008 (VIII-1059)	
BADANY FILTR				
Typ: włóknina		Powierzchnia filtracyjna (m ²): 0,30	Budowa: filtr płaski	
Ładunek elektrostatyczny: indukowany elektrycznie		Kolor: niebieski	Spoivo: brak	
Stan filtra: obciążony cząstkami stałymi KCl, kondycjonowany przez 24 godziny w oparach izopropanolu				
Dodatkowe informacje: filtr podłączony do zasilacza 24 V 2,1 A				
WARUNKI PROWADZENIA BADAŃ				
Natężenie przepływu powietrza (m ³ /s): 0,944	Temperatura powietrza (°C): 27	Wilgotność względna (%): 42	Aerozol: cząstki stałe KCl	Obciążenie pyłem lub kondycjonowanie: 24 h w oparach izopropanolu
WYNIKI				
Opory przepływu		Skuteczność frakcyjna		
Zmierzone: 128 Pa	Początkowa waga: 139,9 g	Przedział (mm)	Zmierzona skuteczność (%)	Stężenie cząstek od strony dopływu (cząstek/dm ³)
		0,30 – 0,40	7	342864,300
		0,40 – 0,55	15	143071,933
		0,55 – 0,70	27	53666,133
		0,70 – 1,00	42	40889,100
		1,00 – 1,30	57	9984,633
		1,30 – 1,60	63	5099,800
		1,60 – 2,20	70	12943,733
		2,20 – 3,00	81	5034,867
		3,00 – 4,00	87	1184,533
		4,00 – 5,50	87	300,933
		5,50 – 7,00	85	37,833
		7,00 – 10,00	85	16,533
Sposprzeżenia				
UWAGA				

Tabela 11. Warunki kondycjonowania filtra powietrza (wg PN-EN ISO 16890-4:2017), [11]
 Table 11. Conditioning parameters of the air filter (in accordance with PN-EN ISO 16890-4:2017), [11]

WARUNKI PROWADZENIA PROCESU		
Temperatura minimalna (°C): 27	Wilgotność względna minimalna (%): 42	Ciśnienie atmosferyczne minimalne (hPa): 1013
Temperatura maksymalna (°C): 30	Wilgotność względna maksymalna (%): 49	Ciśnienie atmosferyczne maksymalne (hPa): 1015
Czystość izopropanolu (%): 99,7	Objętość izopropanolu (L): 1	Liczba pojemników (szt.): 1
Powierzchnia parowania (m ²): 0,74	Objętość komory (m ³): 0,14	Wymiary pojemników (dł. x szer. x gł.) (mm): 590 x 500 x 90
WYNIKI PROCESU KONDYCJONOWANIA		
Waga filtra przed kondycjonowaniem (g): 139,8	Waga filtra po kondycjonowaniu (g): 139,9	Waga pojemnika z izopropanolem przed kondycjonowaniem (g): 2442,2
		Waga pojemnika z izopropanolem po kondycjonowaniu (g): 2438,8
Opory przepływu przy strumieniu nominalnym		
Przed kondycjonowaniem (Pa): 128		Po kondycjonowaniu (Pa): 128
Sposprzeżenia		

BIBLIOGRAFIA

[1] Dyrektywa 2001/45/WE z dnia 27 czerwca 2001 r. dotycząca minimalnych wymagań w dziedzinie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia przy użytkowaniu przez pracowników urządzeń produkcyjnych podczas pracy

[2] Dyrektywa 89/391/EWG z 12 czerwca 1989 r. w sprawie wprowadzenia środków w celu zwiększenia bezpieczeństwa i poprawy zdrowia pracowników podczas pracy

[3] Dyrektywa Rady 98/24/WE z dnia 7 kwietnia 1998 r. w sprawie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników przed ryzykiem związanym ze środkami chemicznymi w miejscu pracy (czternasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust.1 dyrektywy 89/391/EWG)

[4] Konwencja Nr 148 Międzynarodowej Organizacji Pracy dotycząca ochrony pracowników przed zagrożeniami zawodowymi w miejscu pracy spowodowanymi zanieczyszczeniami powietrza, hałasem i wibracjami, przyjęta w Genewie w 1977 r. (Dz.U. z 2005 r., Nr 66, poz. 574)

[5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 października 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy (Dz.U. z 2002 r. Nr 191 poz. 1596 z późn. zm.)

[6] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz.U. z 1997 r., Nr 129 poz. 844 z późn. zm.)

[7] PN-EN 779:2012 Przeciwpływowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej. Określanie parametrów filtracyjnych

[8] PN-EN ISO 16890-1:2017-01. Przeciwpływowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej – Część 1: Specyfikacje techniczne, wymagania i system klasyfikacji skuteczności określony na podstawie wielkości cząstek pyłu (ePM)

[9] PN-EN ISO 16890-2:2017-01. Przeciwpływowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej – Część 2: Pomiar skuteczności filtracji w funkcji wymiaru cząstek oraz oporu przepływu powietrza

[10] PN-EN ISO 16890-3:2017-01. Przeciwpływowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej – Część 3: Określanie skuteczności filtracji metodą grawimetryczną i oporu przepływu powietrza w zależności od masy zatrzymanego pyłu

[11] PN-EN ISO 16890-4:2017-01. Przeciwpływowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej – Część 4: Metoda kondycjonowania mająca na celu wyznaczenie minimalnej badawczej skuteczności filtracji w funkcji wymiaru cząstek

[12] Sikończyk I. *Dobór filtrów sklasyfikowanych wg PN-EN ISO 16890 w systemach wentylacji ogólnej*. „Chłodnictwo i Klimatyzacja” 2018,2

[13] Sikończyk I. *Dobór filtrów sklasyfikowanych wg PN-EN ISO 16890 w systemach wentylacji ogólnej z uwzględnieniem ich efektywności energetycznej*. Materiały konferencyjne Forum Wentylacja 2018, Warszawa

[14] Wojtas K. *Wymagania i zasady nowej klasyfikacji filtrów w systemach wentylacji budynków*. „Rynek Instalacyjny” 2016,12

[15] Wojtas K. *Konsekwencje wprowadzenia nowej klasyfikacji filtrów dla wentylacji wg normy EN-ISO 16890*. „Rynek Instalacyjny” 2017,1/2

[16] PN-EN 1822-1:2009 Wysokoskuteczne filtry powietrza (EPA, HEPA, ULPA). Część 1: Klasyfikacja, badanie parametrów, znakowanie

[17] Brunner A. *Feinstaub: Die Klassifizierungsgröße der neuen ISO-Luftfilternorm*. HLH 2017,68,3 <https://www.hlh.de/2017/Ausgabe-03/Editorial2/Feinstaub-Die-Klassifizierungsgrösse-der-neuen-ISO-Luftfilternorm>

[18] Eurovent 4/23 – 2017. Selection of EN ISO 16890 rated air filter class general ventilation applications, <https://eurovent.eu/?q=articles/how-select-en-iso-16890-rated-air-filter-classes-general-ventilation-applications>

[19] PN-EN ISO 14644-1:2016-03 Klasyfikacja czystości powietrza na podstawie stężenia cząstek

Publikacja opracowana w ramach realizacji zadania badawczego z działalności statutowej, finansowanej w latach 2017-2019 ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.