


Tomasz Jankowski



**Metoda badania parametrów
użytkowych urządzeń
filtrowentylacyjnych w centralach
wentylacyjnych budynków**

Zalecenia

Tomasz Jankowski

Metoda badania parametrów użytkowych urządzeń filtrowentylacyjnych w centralach wentylacyjnych budynków

Zalecenia

CIOP  **PIB** **75** LAT

Warszawa 2025

Zrealizowano w ramach VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Zadanie 1.ZS.02,



pt. Ocena parametrów użytkowych urządzeń filtrowentylacyjnych w warunkach rzeczywistego stosowania w instalacjach wentylacji ogólnej.

Koordinator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autor: dr inż. Tomasz Jankowski – Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Projekt okładki: Jolanta Maj
Opracowanie redakcyjne: Dorota Marzec

© Copyright by
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2025

ISBN: 978-83-7373-462-3



CIOP  **PIB** **75** LAT

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. 22 623 36 98, www.ciop.pl

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie.....	5
2. Badania filtrów powietrza w CIOP-PIB	9
3. Metoda badania filtrów powietrza w warunkach użytkowania w centralach HVAC budynków	11
4. Przykład badania filtra powietrza w centrali HVAC budynku.....	17
5. Podsumowanie.....	21
Bibliografia.....	23

1. Wprowadzenie



W warunkach użytkowania pomieszczeń w budynkach nadrzędnym celem jest zapewnienie ochrony użytkownikom pomieszczeń pracy przed ryzykiem narażenia na cząstki aerozoli i substancje chemiczne.

Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza emitowanych w pomieszczeniach można ograniczyć, stosując środki ochrony zbiorowej przed aerozolami. Zgodnie z dyrektywami UE oraz przepisami prawa polskiego ich stosowanie ma pierwszeństwo przed środkami ochrony indywidualnej.

Ochrona przed działaniem substancji chemicznych i cząstek aerozoli w pomieszczeniach powinna opierać się przede wszystkim na wykorzystaniu różnych typów środków ochrony zbiorowej:

- wentylacji powietrza,
- filtracji powietrza.

W instalacjach wentylacji ogólnej i miejscowej jakość powietrza odprowadzanego lub dostarczanego do pomieszczeń zależy od jedno- lub wielostopniowych układów oczyszczających, dobranych zgodnie z wymaganiami higienicznymi lub technologicznymi.

Materiały filtracyjne i filtry powietrza są zazwyczaj stosowane jako końcowy etap procesu usuwania zanieczyszczeń aerozolowych z powietrza. Układy te mają złożoną strukturę poprzeczną, wewnątrz której cząstki aerozoli mogą być zatrzymywane na włóknach.

Jednym z kluczowych czynników decydujących o optymalnych właściwościach filtracyjnych takich systemów jest oddziaływanie cząstek aerozoli z włóknami tworzącymi warstwę filtracyjną. Podstawowymi parametrami opisującymi działanie układów włókninowych są opory przepływu oraz sprawność frakcyjna, określane podczas przebiegu nieustalanej filtracji wgłębnej, charakteryzującej się złożonymi mechanizmami transportu i wychwytywania cząstek aerozoli [1–4].

Szczególne znaczenie w dziedzinie oczyszczania powietrza mają badania nad optymalizacją działania oraz racjonalnym wykorzystaniem układów filtracji powietrza w przestrzeniach wewnętrznych budynków, zwłaszcza w kontekście rosnących wymagań higienicznych, norm jakości powietrza i efektywności energetycznej.

2. Badania filtrów powietrza w CIOP-PIB



Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB) posiada kompetencje w zakresie klasyfikacji i badań parametrów użytkowych filtrów powietrza oraz materiałów filtracyjnych:

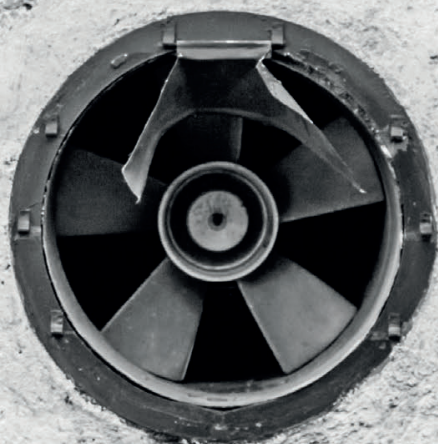
- **w warunkach laboratoryjnych** – zgodnie z normami PN-EN ISO 16890 [5–8], PN-EN ISO 29463 [9–13] oraz PN-EN 1822 [14],
- **w warunkach eksploatacyjnych**, podczas ich użytkowania w centralach wentylacyjnych budynków – zgodnie z PN-EN ISO 29462 [15].

Materiały filtracyjne i filtry powietrza są zazwyczaj stosowane jako końcowy etap procesu oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń w instalacjach:

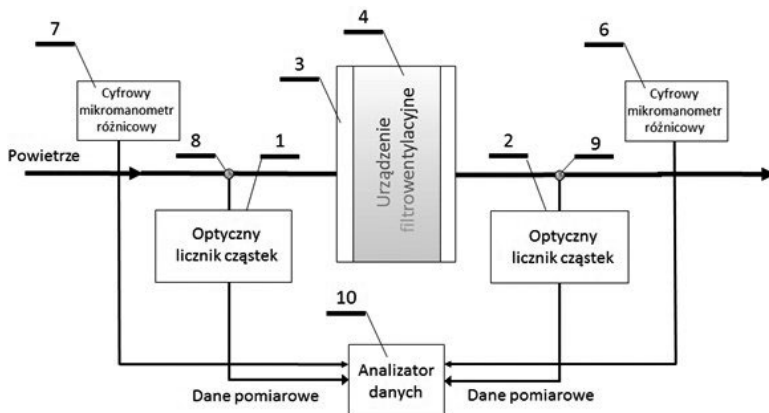
- ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC) w budynkach,
- wentylacyjnych w procesach technologicznych.

Wyniki badań dostarczają cennych informacji dla producentów, projektantów i dystrybutorów materiałów filtracyjnych oraz filtrów powietrza stosowanych w różnych typach budynków – od obiektów użyteczności publicznej i laboratoriów, po zakłady przemysłowe i budynki mieszkalne. Pozwalają podnosić jakość i konkurencyjność produktów, a jednocześnie zwiększać bezpieczeństwo użytkowników.

3. Metoda badania filtrów powietrza w warunkach użytkowania w centralach HVAC budynków



Stanowisko badania urządzeń filtrowentylacyjnych w centralach HVAC budynków przedstawiono na rys. 1. Stanowisko badawcze zostało opracowane na podstawie wytycznych zawartych w normach PN-EN ISO 29462 [15], PN-EN 16798-1 [16], PN-EN 13053 [17].



Rys. 1. Schemat stanowiska badania urządzeń filtrowentylacyjnych w warunkach terenowych

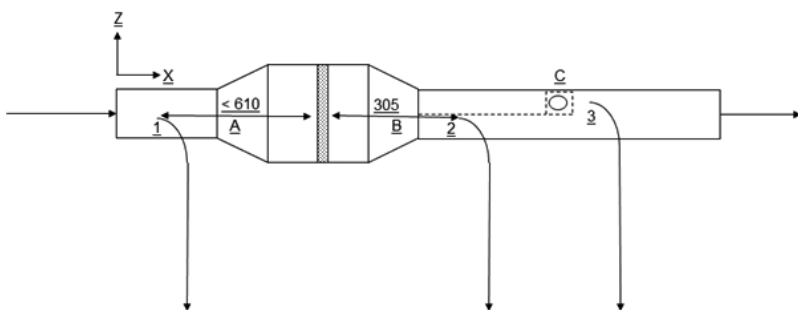
Urządzenie filtrowentylacyjne (4) funkcjonuje w obrębie centrali HVAC budynku (3). W układzie pomiarowym badania urządzenia w warunkach terenowych stosuje się dwa optyczne liczniki cząstek (1), (2), przy czym pierwszy optyczny licznik cząstek (1) zainstalowany jest przed badanym urządzeniem (3), a drugi optyczny licznik cząstek (2) zainstalowany jest za badanym urządzeniem filtrowentylacyjnym. Sondy ze zmiennymi głowicami umożliwiają izokinetyczny pobór próbek powietrza do optycznych liczników cząstek i ich dalszej analizy (8), (9).

Przed i za urządzeniem filtrowentylacyjnym podłączone są cyfrowe mikromanometry różnicowe (6), (7). Optyczne liczniki cząstek (1), (2) oraz cyfrowe mikromanometry różnicowe

we (6), (7) są przyłączone do analizatora danych (10). W trakcie pracy centrali (3) z urządzeniem filtrowentylacyjnym (4) optyczne liczniki cząstek (1), (2) dokonują cyklicznych (co 60 sekund) pomiarów stężenia cząstek danego typu w powietrzu przed i za urządzeniem. Przed i za urządzeniem filtrowentylacyjnym określana jest różnica ciśnień (co 60 sekund).

Sondy do pobierania próbek aerozolu przed i za filtrem powietrza powinny mieć taką samą długość i być możliwie jak najkrótsze, aby zminimalizować straty cząstek. Zaleca się stosowanie materiałów o właściwościach ograniczających straty cząstek w układach filtracyjnych.

Miejsca pobierania próbek aerozolu powinny być umieszczone blisko badanego filtra powietrza, jak pokazano na rys. 2. Jeśli testowana ma być skuteczność systemu, miejsca pobierania próbek powinny być zlokalizowane w większej odległości, co zapewni dobre wymieszanie przepływu powietrza, np. przez filtry, ramy, kłapy. Pomiar wydajności systemu jest trudniejszy, dlatego dobrą praktyką jest jego dokładne zaplanowanie i szczegółowe opisanie sposobu przeprowadzenia.



Rys. 2. Schemat lokalizacji miejsc pobierania próbek

A – minimalna odległość pomiędzy sondą próbkującą a filtrem

B – odległość pomiędzy końcem filtra i sondą próbkującą

C – lokalizacja punktów poboru próbek w płaszczyźnie y-z do badań skuteczności filtrów

1 – lokalizacja sondy próbkującej przed filtrem (U/S)

2 – lokalizacja sondy próbkującej za filtrem (D/S) do testu wydajności filtra

3 – lokalizacja sondy próbkującej za systemem (D/S) do testu jego wydajności.

Do podstawowych parametrów oceny działania urządzeń filtrowentylacyjnych w centralach HVAC budynków zalicza się:

- prędkość powietrza – prędkość ruchu powietrza w urządzeniu testowym (filtr powietrza, urządzenie filtrowentylacyjne). Wyraża się ją w m/s,
- dopuszczalne mieralne stężenie licznika cząstek – 50% maksymalnego mierzanego stężenia podanego przez producenta licznika cząstek,
- skuteczność filtra – frakcja lub procent substancji zanieczyszczającej, która jest usuwana przez urządzenie testowe,
- skuteczność usuwania w odniesieniu do wielkości cząstek – stosunek liczby cząstek zatrzymanych przez filtr powietrza do liczby cząstek zmierzonych przed filtrem dla danego zakresu wielkości cząstek,
- opór przepływu powietrza – różnica ciśnienia bezwzględnego (statycznego) pomiędzy dwoma punktami układu. Opór przepływu powietrza mierzony jest w Pa,
- skuteczność systemu filtrów – skuteczność usuwania przez system filtrów, w przypadku gdy pomiary stężenia liczbowego cząstek przed i za mogą odbywać się przez układ kilku filtrów lub innych elementów systemu.

Metodę badawczą zgodną z PN-EN ISO 29462 [15], można stosować do trzech rodzajów testów:

- skuteczność filtra – celem tego testu jest określenie skuteczności filtra w usuwaniu cząstek zawieszonych w powietrzu. Należy wybrać takie miejsca pobierania próbek, aby uzyskać reprezentatywne próbki powietrza przechodzącego przez filtr,
- skuteczność systemu filtrów – celem tego testu jest określenie skuteczności systemu filtrów w usuwaniu cząstek zawieszonych w powietrzu. System filtrów składa się z filtrów i ramek utrzymujących filtry. Należy wybrać takie miejsca i metody pobierania próbek w części za systemem, aby uzyskać reprezentatywne próbki całkowitego przepływu powietrza przez system filtracji. Obejmuje to powietrze przepływające przez filtry i wokół filtrów (tj. obejście filtra powietrza),

- skuteczność pozostałych typów systemów – metodykę badawczą można również wykorzystać do porównania stężenia cząstek zawieszonych w powietrzu w różnych sekcjach centrali wentylacyjnej, a tym samym do przetestowania systemu HVAC jako całości.

4. Przykład badania filtra powietrza w centrali HVAC budynku



W centrali HVAC, zgodnej z PN-EN 1886 [18], zainstalowano kieszeniowy filtr powietrza klasy G4 (klasa określona zgodnie z wycofaną normą PN-EN 779 [19] o wymiarach 592x592x360 mm (rys. 3).



Rys. 3. Kieszeniowy filtr powietrza – powierzchnia boczna (a) i filtracji (b)

Na podstawie danych przedstawionych w tabeli 1 zaobserwowano wzrost oporu przepływu powietrza przez badany filtr wraz ze wzrostem natężenia przepływu powietrza w centrali wentylacyjnej. Wykazano silną korelację oporu przepływu od natężenia przepływu powietrza opisaną zależnością liniową ($R^2=0,9942$).

Tabela 1. Opór przepływu powietrza w zależności od prędkości w centrali HVAC

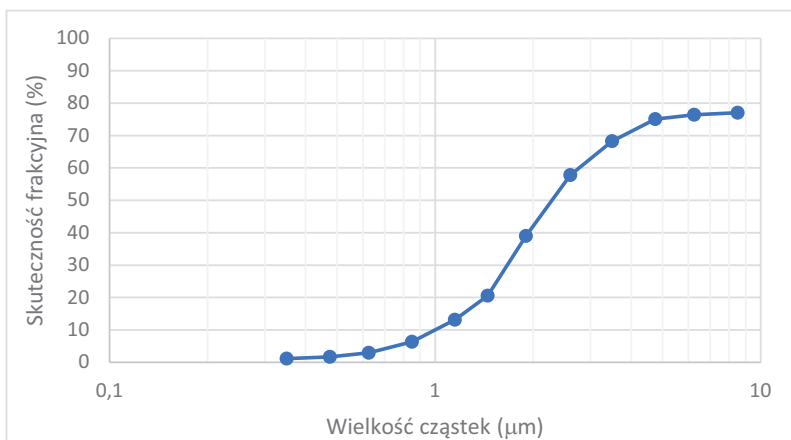
% przepływu nominalnego powietrza	Natężenie przepływu powietrza (m ³ /s)	Opór przepływu powietrza (Pa)
50%	0,472	15
75%	0,708	30
100%	0,944	51
125%	1,180	72

W zakresie cząstek aerozolu o wymiarach od 0,3 µm do 10 µm następował spadek ich stężenia liczbowego wraz ze wzrostem wymiaru cząstek (tab. 2). Spowodowało to zdecydowany (ponad 18-krotny) wzrost skuteczności filtracji cząstek w zakresie od 0,7 µm do 5,5 µm oraz stabilizację wartości w zakresie (tab. 2 i rys. 4):

- 1,3% ÷ 4,1% skuteczności filtracji cząstek o wymiarach od 0,3 µm do 0,7 µm.
- 75,4% ÷ 76,2% skuteczności filtracji cząstek o wymiarach od 5,5 µm do 10,0 µm.

Tabela 2. Stężenia liczbowe cząstek i skuteczności usuwania cząstek o danym zakresie wymiarów przez filtr powietrza w centrali HVAC budynku

Przedział wymiaru cząstek (µm)	Zmierzona skuteczność usuwania cząstek (%)	Stężenie cząstek od strony dopływu (cząstek/dm ³)
0,30 - 0,40	1,3	129925,8
0,40 - 0,55	1,9	93975,5
0,55 - 0,70	4,1	41418,7
0,70 - 1,00	9,1	33923,6
1,00 - 1,30	14,4	8317,6
1,30 - 1,60	21,1	5624,0
1,60 - 2,20	38,6	3638,5
2,20 - 3,00	55,9	1802,4
3,00 - 4,00	68,3	1265,6
4,00 - 5,50	75,4	691,4
5,50 - 7,00	75,8	199,7
7,00 - 10,00	76,2	192,2



Rys. 4. Skuteczność usuwania cząstek przez filtr powietrza w zależności od ich wymiarów

W trakcie badań terenowych zainstalowany filtr powietrza w centrali HVAC budynku nie osiągnął końcowej wartości oporu przepływu powietrza wynoszącej 300 Pa. Osiągnięta wartość rzeczywista wynosiła 17% wartości końcowej.

Jednocześnie badany filtr powietrza usuwał cząstki w zakresie od 0,3 do 10,0 µm ze skutecznością 50,35% (tab. 3).

Tabela 3. Parametry użytkowe filtra powietrza w centrali HVAC budynku

Opór przepływu powietrza	Skuteczność usuwania dla zakresu cząstek od 0,3 do 1,0µm ePM ₁	Skuteczność usuwania dla zakresu cząstek od 0,3 do 2,5µm ePM _{2,5}	Skuteczność usuwania dla zakresu cząstek od 0,3 do 10,0µm ePM ₁₀	Klasyfikacja filtra powietrza w warunkach terenowych zgodnie z ISO
51 Pa	3,10%	13,31%	50,35%	ePM10 50%

Zgodnie z znormalizowaną klasyfikacją zainstalowany filtr powietrza można zakwalifikować do klasy ISO ePM10 50% dla nominalnego strumienia objętości powietrza wynoszącego 3400 m³/h w centrali HVAC budynku. Badany filtr powietrza został prawidłowo obsadzony w centrali HVAC budynku zlokalizowanym w obszarze miejskim jako filtr wstępny.

5. Podsumowanie



Projektanci wielostopniowych układów filtracji powietrza powinni uwzględnić, jak filtry i materiały filtracyjne zachowują się w czasie eksploatacji. Zastosowanie układów wielostopniowych o określonej wydajności i skuteczności filtracji pozwala nie tylko obniżyć stężenie zanieczyszczeń w powietrzu dopływającym do pomieszczeń – co ma znaczenie dla zdrowia, samopoczucia i wymagań technologicznych – ale także chroni urządzenia w centralach HVAC i przewody wentylacyjne przed nadmiernym obciążeniem pyłem.

Wdrożona norma PN-EN ISO 29462 stanowi podstawę oceny zgodności filtrów powietrza w warunkach rzeczywistego użytkowania w centralach HVAC budynków. Opracowane w CIOP-PIB stanowisko badawcze daje producentom, projektantom i dystrybutorom filtrów powietrza w budynkach użyteczności publicznej, przemyśle, laboratoriach oraz w obiektach mieszkalnych i handlowych solidną podstawę do zapewnienia jakości, konkurencyjności na rynku krajowym i międzynarodowym oraz bezpieczeństwa użytkowników tych budynków.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kulkarni P, Baron PA, Willeke K. Aerosol measurement: Principles, techniques and applications. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons; 2011. doi:10.1002/9781118001684
- [2] Rosner DE, Arias-Zugasti M. Multi-mechanism theory of aerosol capture by fibrous filters, including fiber diameter/orientation dispersity and particle morphology effects: Preliminary tests vs data for mobility-selected submicron particles. *J Aerosol Sci.* 2022;164:106000. doi:10.1016/j.jaerosci.2022.106000.
- [3] Arias-Zugasti M, Rosner DE, Fernandez de la Mora J. Low Reynolds number capture of small particles on a cylinder by diffusion, interception, and inertia at subcritical Stokes numbers: Numerical calculations, correlations, and small diffusivity asymptote. *Aerosol Sci Technol.* 2019;53:1367–1380.
- [4] Dhaniyala S, Liu B. Theoretical modeling of filtration by nonuniform fibrous filters. *Aerosol Sci Technol.* 2001;34:170–178.
- [5] 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).
- [6] PN-EN ISO 16890-2:2023-01. Przeciwpływowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej – Część 2: Pomiar skuteczności filtracji w funkcji wymiaru cząstek oraz oporu przepływu powietrza.
- [7] PN-EN ISO 16890-3:2025-02. Przeciwpływowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej – Część 3: Określanie skuteczności filtracji metodą grawimetryczną i oporu przepływu powietrza w zależności od masy zatrzymanego pyłu.

- [8] PN-EN ISO 16890-4:2023-01. Przeciwpyłowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej – Część 4: Metoda kondycjonowania mająca na celu wyznaczenie minimalnej badawczej skuteczności filtracji w funkcji wymiaru cząstek.
- [9] PN-EN ISO 29463-2:2018-11. Wysokoskuteczne filtry i materiały filtracyjne do usuwania cząstek z powietrza – Część 2: Wytwarzanie aerozolu, urządzenia pomiarowe i statystyka dotycząca zliczania cząstek.
- [10] PN-EN ISO 29463-3:2018-11. Wysokoskuteczne filtry i materiały filtracyjne do usuwania cząstek z powietrza – Część 3: Badania materiałów filtracyjnych z płaskich arkuszy.
- [11] PN-EN ISO 29463-4:2018-11. Wysokoskuteczne filtry i materiały filtracyjne do usuwania cząstek z powietrza – Część 4: Metoda badania szczelności elementów filtra – Metoda skanowania.
- [12] PN-EN ISO 29463-5:2022-10. Wysoko efektywne filtry i materiały filtrujące służące do usuwania cząstek stałych z powietrza – Część 5: Metoda badania elementów filtrujących.
- [13] ISO 29463-1:2024. High efficiency filters and filter media for removing particles from air – Part 1: Classification, performance, testing and marking.
- [14] PN-EN 1822-1:2019. Wysokoskuteczne filtry powietrza (EPA, HEPA i ULPA) – Część 1: Klasyfikacja, badania właściwości użytkowych, znakowanie.
- [15] PN-EN ISO 29462:2023-02. Badanie w warunkach terenowych urządzeń filtracyjnych i systemów stosowanych w wentylacji ogólnej w celu określenia ich skuteczności oczyszczania w odniesieniu do wymiarów cząstek i oporów przepływu powietrza.
- [16] PN-EN 16798-1:2019-06. Charakterystyka energetyczna budynków -- Wentylacja budynków – Część 1: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego do projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków w odniesieniu do jakości powietrza wewnętrznego, środowiska cieplnego, oświetlenia i akustyki -- Moduł M1-6.

- [17] PN-EN 13053:2020-05. Wentylacja budynków. Centrale wentylacyjne i klimatyzacyjne. Klasyfikacja i charakterystyki działania urządzeń, elementów składowych i sekcji.
- [18] PN-EN 1886:2008. Wentylacja budynków – Centrale wentylacyjne i klimatyzacyjne – Właściwości mechaniczne.
- [19] PN-EN 779:2012. Przeciwpyłowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej – Określanie parametrów filtracyjnych (norma wycofana i zastąpiona PN-EN ISO 16890).

ISBN: 978-83-7373-462-3