

Ocena działania filtrów powietrza w centralach HVAC budynków

Evaluation of the performance of air filters used in building HVAC units

TOMASZ JANKOWSKI, SZYMON KAMOCKI

DOI: 10.17512/INSTAL.2026.02.05

Nowoczesne budynki charakteryzują się złożoną konstrukcją, różnorodnymi przestrzeniami o różnych funkcjach, co utrudnia zapewnienie odpowiedniej wentylacji, klimatyzacji i jakości powietrza w całym budynku. Systemy HVAC stanowią pierwszy etap w oczyszczaniu powietrza z zawieszonych zanieczyszczeń. Kluczowym elementem central HVAC są wielostopniowe układy filtracji powietrza składające się z filtrów powietrza. Artykuł przedstawia, w jaki sposób przeprowadzić kontrolę okresową układów filtracji powietrza w warunkach użytkowania central HVAC budynków. Poprawność działania przykładowego filtra powietrza została przetestowana w warunkach użytkowania w centrali HVAC jednego z budynków w Warszawie. Zmierzona wartość oporu przepływu powietrza stanowiła 60% wartości granicznej, a filtr powietrza usuwał aerozole nadal ze skutecznością filtracji zbliżoną do danych producenta (PM1 65%, PM2,5 70%, PM10 90%). Opracowane w CIOP-PIB stanowisko badawcze stanowi niezbędną podstawę do określania parametrów użytkowych filtrów powietrza w centralach HVAC.

Słowa kluczowe: filtry powietrza, wentylacja, centrale HVAC, budynki, jakość powietrza

Modern units are characterized by their design, diverse spaces, and various functions, which enable them to ensure adequate ventilation, air conditioning and air quality throughout the building. HVAC systems include the first stage of air purification, removing suspended particles. The key element of the HVAC unit is the multi-stage air filtration system, which consists of air filters. This article describes how to conduct periodic inspections of air filtration systems in the operating conditions of building HVAC units. The correct operation of a sample air filter was tested under operating conditions in the HVAC unit of a building in Warsaw. The measured airflow resistance was 60% of the limit value, and the air filter continued to remove aerosols with filtration efficiencies close to the manufacturer's specifications (PM1: 65%, PM2.5: 70%, PM10: 90%). The test stand developed at CIOP-PIB provides an essential basis for determining the performance parameters of air filters in HVAC units.

Keywords: air filters, ventilation, HVAC units, buildings, air quality

Wprowadzenie

Zapewnienie wysokiej jakości powietrza w pomieszczeniach budynków ma kluczowe znaczenie dla zdrowia i komfortu użytkowników. Jak wykazują badania, większość ludzi spędza nawet do 90% czasu wewnątrz budynków [1].

Z reguły zanieczyszczenia powietrza zwiększają ryzyko astmy, przewlekłej obturacyjnej choroby płuc, ostrej infekcji dróg oddechowych, gruźlicy, czy ostatecznie raka płuc. Wykazano również, że narażenie na zanieczyszczenia powietrza przyczynia się do udarów oraz choroby niedokrwiennej serca [2]. Istnieją dowody, które łączą zanieczyszczenia powietrza ze zwiększonym ryzykiem cukrzycy, chorób neurologicznych, zaburzeń poznawczych. Niekorzystne oddziaływanie na zdrowie

widoczne jest przede wszystkim w przypadku osób starszych, młodocianych, a także kobiet w ciąży.

Powietrze w pomieszczeniach może często zawierać więcej zanieczyszczeń niż powietrze zewnętrzne. W konsekwencji niska jakość powietrza w pomieszczeniach może prowadzić do poważnych problemów zdrowotnych pracowników, czy obniżenia jakości produktów w przedsiębiorstwach.

Powietrze, w szczególności w obszarach zurbanizowanych i przemysłowych, zawiera wiele różnych rodzajów zanieczyszczeń, które różnią się wielkością cząstek i właściwościami fizykochemicznymi.

- Pyły zawieszane (PM1, PM2,5, PM10) są to drobne cząstki stałe, które unoszą się w powietrzu. Są głównym składnikiem tzw. smogu. Mogą powodować

problemy z układem oddechowym i sercowo-naczyniowym człowieka.

- Cząstki ultradrobne (UFP) są to cząstki stałe o średnicy mniejszej niż 100 nanometrów. Ze względu na swój rozmiar, mogą przenikać głęboko do układu oddechowego i krwionośnego człowieka.
- Lotne związki organiczne (LZO) są to gazy emitowane przez różne materiały, takie jak farby, lakiery, meble, detergenty. Mogą być odpowiedzialne za podrażnienia oczu, nosa i gardła, a także bóle głowy i inne problemy zdrowotne.
- Bioaerozole (bakterie, wirusy, zarodniki pleśni) to cząstki biologiczne, które unoszą się w powietrzu. Mogą powodować alergię i infekcje układu oddechowego człowieka.

dr inż. Tomasz Jankowski ORCID: 0000-0003-3620-9407; mgr inż. Szymon Kamocki ORCID 0009-0004-8782-5052 – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Chemicznych, Pyłowych i Biologicznych, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, Polska, Autor korespondencyjny: e-mail: tojan@ciop.pl

- Gazy kwaśne (SO_x , NO_x , H_2S , HCl) są to gazy, które mają odczyn kwaśny. Mogą być przyczyną problemów z układem oddechowym człowieka.

Ochrona przed działaniem substancji chemicznych i cząstek aerozoli w pomieszczeniach powinna odbywać się przede wszystkim z wykorzystaniem różnych typów środków ochrony zbiorowej, w tym:

- wentylacji powietrza,
- filtracji powietrza.

W budynkach instalacje i centrale HVAC mają coraz większy wpływ na kształtowanie warunków komfortu wewnętrznego [3]. Materiały filtracyjne i filtry powietrza są ważnymi elementami central HVAC budynków [4]. Zarówno w instalacjach wentylacji ogólnej, jak i w urządzeniach filtracyjno-wentylacyjnych, elementami decydującymi o jakości powietrza odprowadzanego z pomieszczeń lub do nich doprowadzanego, są układy filtracyjne jedno- lub wielostopniowe, zdefiniowane wymaganiami higienicznymi lub technologicznymi.

Filtry powietrza są stosowane zwykle jako ostatni etap procesu oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń aerozoli. Układy te mają rozbudowaną strukturę w przekroju poprzecznym i cząstki aerozoli mogą być zatrzymywane na włóknach wewnątrz tej struktury. Jednym z najważniejszych zjawisk decydujących o optymalnych właściwościach filtracyjnych takich układów jest oddziaływanie cząstek aerozoli z włóknami stanowiącymi warstwę filtracyjną. Podstawowymi parametrami opisującymi pracę układu włóknin są opory przepływu i sprawność frakcyjna określane podczas przebiegu nieustalonej filtracji wgłębnej, charakteryzowanej przez złożone mechanizmy transportu i zatrzymywania cząstek aerozoli [5-8].

Szczególne znaczenie w dziedzinie oczyszczania powietrza pomieszczeń mają badania dotyczące optymalizacji działania i racjonalnego wykorzystywania układów filtracji powietrza wewnątrz budynków.

Badania filtrów powietrza w CIOP-PIB

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (CIOP-PIB) przeprowadza klasyfikację i badania parametrów filtrów powietrza i materiałów filtracyjnych:

- w warunkach laboratoryjnych zgodnie z PN-EN ISO 16890 [9-12], PN-EN ISO 29463 [13-17] i PN-EN 1822 [18],
- w warunkach ich użytkowania w centralach HVAC budynków zgodnie z PN-EN ISO 29462 [19].

Wielostopniowe układy filtracyjne składające się z materiałów filtracyjnych i filtrów powietrza są stosowane jako ostatni etap procesu oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń w instalacjach:

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

Badania zgodnie z powyższymi metodami stanowią niezbędną podstawę dla producentów, projektantów oraz dystrybutorów materiałów filtracyjnych i filtrów powietrza w budynkach użyteczności publicznej, przemyśle, laboratoriach, obiektach mieszkalnych, handlowych itp. do zapewnienia jakości powietrza w pomieszczeniach i bezpieczeństwa użytkowników tych budynków.

Metoda badania filtrów powietrza w warunkach laboratoryjnych

W 2017 roku PKN przyjął serię nowych norm: PN-EN ISO 16890 dotyczących badania i klasyfikowania filtrów powietrza stosowanych w wentylacji ogólnej. Wdrożenie serii norm PN-EN ISO 16890 spowodowało wycofanie normy PN-EN 779 [20]. 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. Odniesiono go do trzech różnych zakresów wymiarów:

- PM10 (particulate matter) – pył zawieszony o wymiarach cząstek od 0,3 do 10 μm ,
- PM2,5 (particulate matter) – pył zawieszony o wymiarach cząstek od 0,3 do 2,5 μm ,
- PM1 (particulate matter) – pył zawieszony o wymiarach cząstek od 0,3 do 1 μm .

Klasyfikacja wysokoskutecznych filtrów powietrza typu EPA, HEPA i ULPA jest określona w normie PN-EN 1822-1 [18]. Klasa filtru jest określana na podstawie wartości całkowitych i miejscowych skuteczności i penetracji filtracji. Filtry wysokoskuteczne są stosowane jako ostatni stopień w wielostopniowych układach filtracyjnych instalacji wentylacyjnych w pomieszczeniach o bardzo wysokich wymaganiach czystości powietrza (np. w salach operacyjnych szpitali, pomieszczeniach z procesami produkcji leków i surowic, elektroniki oraz artykułów spożywczych). 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 eksploatacyj-

nych. Natomiast skuteczność miejscowa jest skutecznością w określonym punkcie filtra, w danych warunkach eksploatacyjnych. Badanie skuteczności i penetracji filtracji przez filtry wysokoskuteczne wykonuje się testem aerozolu estru bis (2-etyloheksylu) kwasu sebacynowego (DEHS) lub testem aerozolu estru bis (2-etyloheksylu) kwasu ftalowego (DOP).

Dodatkowym badaniem, któremu powinno się poddać materiały filtracyjne stosowane w instalacjach wentylacyjnych podczas obróbki nanomateriałów, są pomiary stężenia nanoaerozolu w zakresie wymiarów cząstek od 20 nm do 500 nm zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 21083-1 [21].

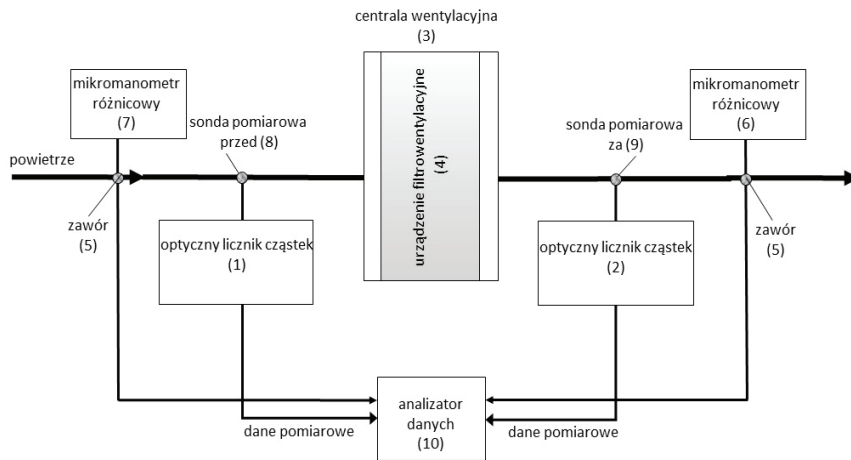
Metoda badania filtrów powietrza w warunkach użytkowania central HVAC budynków

Stanowisko badania urządzeń filtrowentylacyjnych w centralach HVAC budynków przedstawiono na rysunku 1. Stanowisko badawcze zostało opracowane bazując na wytycznych w normach PN-EN ISO 29462 [19], PN-EN 16798-1 [22], PN-EN 13053 [23].

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 filtrowentylacyjnym (4), 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 mikrometri różnicowe (6), (7). Optyczne liczniki cząstek (1), (2) oraz cyfrowe mikrometri różnicowe (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. Na urządzeniu filtrowentylacyjnym dokonuje się pomiar spadku ciśnienia (co 60 sekund).

Sondy do pobierania próbek aerozolu przed i za filtrem powietrza powinny być tej samej długości i możliwie najkrótsze, aby uniknąć strat cząstek. Ponadto materiał użyty do wykonania wewnętrznych ścian sond powinien również minimalizować straty cząstek.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska badania filtrów powietrza w warunkach użytkowych
Fig. 1. Block diagram of the air filter testing setup in operational conditions

W celu uzyskania reprezentatywnej próbki aerozoli miejsca pobierania próbek powinny być umieszczone możliwie blisko badanego filtra powietrza lub systemu filtrów powietrza, jak pokazano na rysunku 2. W przypadku testowania skuteczności całego systemu, miejsca pobierania próbek aerozolu powinny być dodatkowo umieszczone w odpowiedniej odległości od poszczególnych elementów systemu, czyli oprócz filtrów powietrza, ramek i klap. Umożliwia to prawidłowe wymieszanie powietrza i pobranie reprezentatywnej próbki aerozolu za systemem filtracyjnym. Z uwagi na konieczność uwzględniania warunków przepływu powietrza przez wszystkie elementy systemu filtracji powietrza, pomiar stężenia aerozolu w celu określenia skuteczności filtracji systemu jest zdecydowanie bardziej skomplikowany. Dobrą praktyką jest dokładne zaplanowanie pomiaru i szcze-

gółowe opisanie sposobu jego przeprowadzenia, uwzględniającego powietrze przepływające przez filtry powietrza, wokół filtrów powietrza i innych komponentów systemu oraz występowanie dodatkowych źródeł emisji cząstek aerozoli, np. z nieszczelności w obudowie centrali HVAC.

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

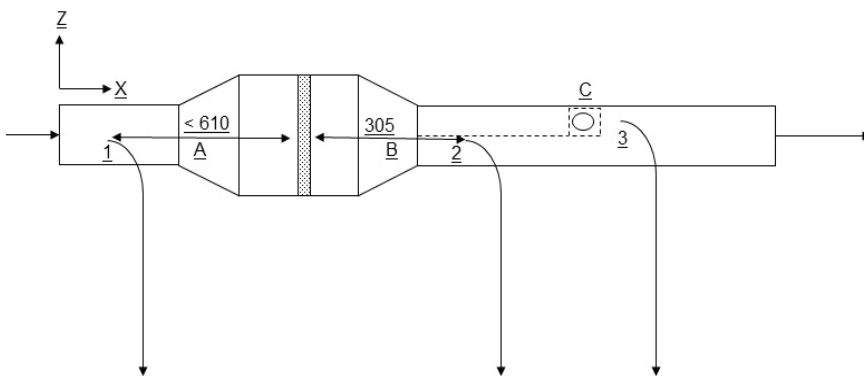
- prędkość powietrza-prędkość ruchu powietrza przez badany filtr powietrza czy urządzenie filtrowentylacyjne [m/s].
- dopuszczalne stężenie określone przez licznik cząstek - 50% maksymalnej wartości stężenia wyznaczonej przez producenta licznika cząstek.
- skuteczność filtra-procent zanieczyszczenia powietrza, który jest usuwany z powietrza przez badane urządzenie.

- skuteczność usuwania w odniesieniu do wymiaru cząstek-stosunek liczby cząstek zatrzymanych przez filtr powietrza/urządzenie filtrowentylacyjne do liczby cząstek zmierzonych przed filtrem dla danego zakresu wymiarowego cząstek.
- opór przepływu powietrza-różnica ciśnienia bezwzględnego (statycznego) pomiędzy dwoma punktami układu pomiarowego [Pa].
- skuteczność systemu filtrów-skuteczność usuwania zanieczyszczeń powietrza przez system filtrów, określona na podstawie stężenia liczbowego cząstek przed i za układem kilku filtrów lub innych elementów systemu.
- Metodę badawczą zgodną z PN-EN ISO 29462 [19], można stosować do określania:
 - skuteczności filtra w usuwaniu cząstek zawieszonych w powietrzu. Miejsca pobierania próbek muszą być reprezentatywne dla próbki powietrza przechodzącego przez filtr.
 - skuteczności systemu filtrów w usuwaniu cząstek zawieszonych w powietrzu. System filtrów składa się z filtrów i ramek utrzymujących filtry. Miejsca i metody pobierania próbek w części za systemem powinny być reprezentatywne dla próbki całkowitego przepływu powietrza przez system filtracji. Tym samym konieczne jest uwzględnienie powietrza przepływającego przez filtry i wokół filtrów (tj. obejścia filtra powietrza).
 - skuteczności pozostałych typów systemów, w celu porównania stężenia cząstek zawieszonych w powietrzu w różnych sekcjach centrali HVAC.

Przykładowe wyniki badania filtra powietrza w centrali HVAC budynku

Poprawność działania metody badawczej została przetestowana w warunkach użytkowania filtra powietrza w centrali HVAC budynku. Badania sprawności filtra powietrza były prowadzone w odniesieniu do zakresu cząstek od 0,3 μm do 10 μm . Badanie weryfikacyjne przeprowadzono w odniesieniu do elektrycznie neutralizowanych stałych cząstek chlorku potasu (KCl) oraz ciekłych cząstek aerozolu estru bis (2-etyloheksylu) kwasu sebacynowego (DEHS).

W centrali HVAC, zgodnej z PN-EN 1886 [24], zainstalowano kieszeniowy filtr powietrza klasy F8 (klasa określona zgodnie z wycofaną normą PN-EN 779 [20]) o wymiarach 592×592×600 mm (rysunek 3).



- 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.

Rys. 2. Schemat lokalizacji miejsc pobierania próbek
Fig. 2. Schematic of sampling point locations



Rys. 3. Kieszeniowy filtr powietrza - powierzchnia boczna (a) i powierzchnia filtracyjna (b)
Fig. 3. Pocket air filter – side surface (a) and filtration surface (b)

Na podstawie danych przedstawionych w tabeli 1 zaobserwowano wzrost oporu przepływu powietrza przez badany filtr wraz ze wzrostem natężenia przepływu powietrza w centrali HVAC. Wykazano silną korelację oporu przepływu od natężenia przepływu powietrza opisaną zależnością liniową ($R^2 = 0,99$). Cząstki aerozoli podczas przepływu przez filtr deponują się na włóknach, tworząc tzw. dendryty. Tworzenie dendrytów jest procesem ciągłym i powoduje zmiany w strukturze warstw filtracyjnych, prowadząc do powstania układów włókno-cząstka aerozolu. Opór przepływu powietrza ciągle narasta wraz z obciążeniem. Zgodnie z danymi producenta zainstalowanego filtra powietrza końcowa wartość oporu przepływu powietrza wynosi 300 Pa. W trakcie badań, stwierdzono wzrost oporu powietrza filtra do wartości 176 Pa. Można również zauważyć, że zwiększenie nominalnej wartości przepływu powietrza w centrali HVAC o 25% spowodowało wzrost wartości oporu przepływu powietrza do 90% wartości granicznej. Osiągnięcie tej wartości powoduje konieczność wymiany filtra powietrza w centrali HVAC.

W zakresie cząstek aerozolu o wymiarach od 0,3 μm do 10 μm nastąpił spadek ich stężenia liczbowego wraz ze wzrostem wymiaru cząstek (Tabela 2). Spowodowało to zdecydowany (blisko 2,5-krotny) wzrost skuteczności filtracji cząstek w zakresie od 0,3 μm do 4,0 μm oraz stabilizację skuteczności filtracji cząstek w zakresie od 4,0 μm do 10,0 μm na poziomie 98,6%–99,6% (tabela 2 i rysunek 4).

Tabela 1. Opór przepływu powietrza w zależności od prędkości w centrali HVAC
Table 1. Air flow resistance depends on speed in the HVAC unit

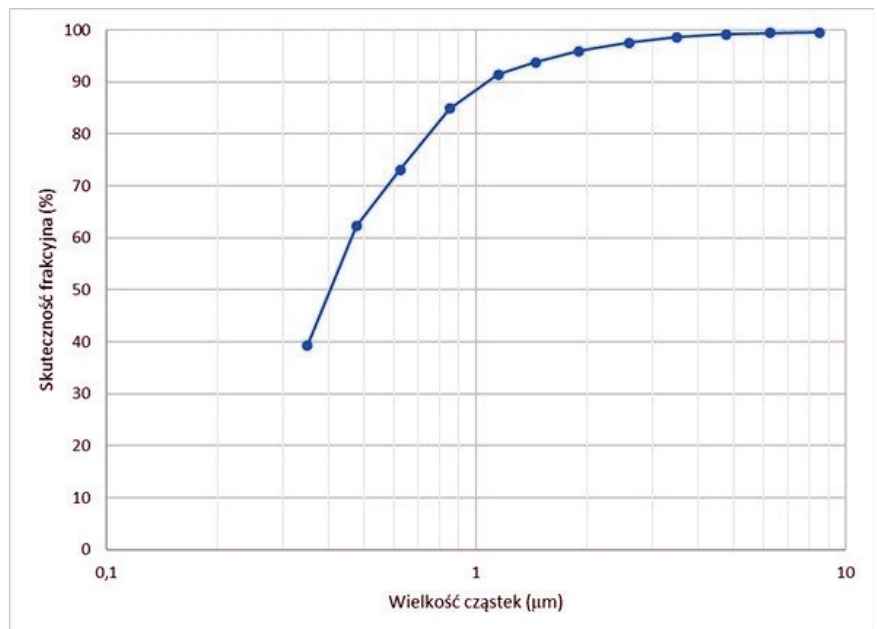
% przepływu nominalnego powietrza	Natężenie przepływu powietrza (m^3/s)	Opór przepływu powietrza (Pa)
50	0,056	38
75	0,083	92
100	0,111	176
125	0,139	270

Tabela 2. Stężenia liczbowe cząstek i skuteczności usuwania cząstek o danym zakresie wymiarów przez filtr powietrza w centrali HVAC budynku
Table 2. Particle number concentrations and particle removal efficiency for a given size range by an air filter in a building's HVAC unit

Skuteczność usuwania cząstek		
Przedział wymiaru cząstek (μm)	Zmierzona skuteczność (%)	Stężenie cząstek od strony dopływu (cząstek/ dm^3)
0,30–0,40	39,3	681839
0,40–0,55	62,2	430477
0,55–0,70	73,2	236692
0,70–1,00	84,9	407520
1,00–1,30	91,4	109973
1,30–1,60	93,8	63521
1,60–2,20	95,9	210994
2,20–3,00	97,6	145196
3,00–4,00	98,6	71462
4,00–5,50	99,1	42736
5,50–7,00	99,4	11773
7,00–10,00	99,6	9717,5

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 60% wartości końcowej.

Jednocześnie badany filtr powietrza usuwał cząstki w zakresie od 0,3 do 2,5 μm ze skutecznością 74,11% (tabela 3).



Rys. 4. Skuteczność usuwania cząstek przez filtr powietrza w zależności od ich wymiarów
Fig. 4. The efficiency of particle removal by the air filter depending on their dimensions

Tabela 3. Parametry użytkowe filtra powietrza w centrali HVAC budynku
Table 3. Performance parameters of the air filter in the building's HVAC unit

Opór przepływu powietrza	Skuteczność usuwania dla zakresu cząstek od 0,3 do 1,0 µm ePM1	Skuteczność usuwania dla zakresu cząstek od 0,3 do 2,5 µm ePM2,5	Skuteczność usuwania dla zakresu cząstek od 0,3 do 10,0 µm ePM10	Klasyfikacja filtra powietrza w warunkach terenowych zgodnie z ISO 16890
176 Pa	64,51%	74,11%	91,36%	ePM2,5 70%

Zgodnie z znormalizowaną klasyfikacją zainstalowany filtr powietrza można zakwalifikować do klasy ISO ePM2,5 70% dla nominalnego strumienia objętości powietrza wynoszącego 400 m³/h w centrali HVAC budynku. Badany filtr powietrza został prawidłowo obsadzony w centrali HVAC budynku zlokalizowanego w obszarze miejskim jako system sekcji filtrów dokładnych dla cząstek aerozoli drobnodispersyjnych. Może być również stosowany jako system sekcji filtrów dokładnych w centrali HVAC budynku zlokalizowanego w obszarze wiejskim dla cząstek aerozoli grubodispersyjnych.

Podsumowanie

Wdrożona norma PN-EN ISO 29462 jest dokumentem bazowym dla oceny zgodności filtrów powietrza w terenowych warunkach użytkowania w centralach HVAC budynków. Opracowane w CIOP-PIB stanowisko badawcze stanowi niezbędną podstawę do określania parametrów użytkowych filtrów powietrza dla producentów, projektantów oraz dystrybutorów filtrów powietrza w budynkach użyteczności publicznej, przemyśle, laboratoriach, obiektach mieszkalnych, handlowych itp. do zapewnienia jakości i konkurencyjności na rynku krajowym i międzynarodowym oraz bezpieczeństwa użytkowników tych budynków.

Projektanci układów filtracji powietrza w centralach HVAC powinni uwzględnić przebieg procesu zachowania się filtrów powietrza/materiałów filtracyjnych w czasie ich eksploatacji. Poprawność działania przykładowego filtra powietrza została przetestowana w warunkach użytkowania w centrali HVAC jednego z budynków w Warszawie. W porównaniu z danymi producenta zainstalowanego filtra powietrza zmierzona wartość oporu przepływu powietrza wynosiła 176 Pa, co stanowiło 60% wartości granicznej. Jednocześnie filtr powietrza usuwał aerozole we wszystkich trzech zakresach wymiarów cząstek (PM1, PM2,5, PM10) nadal ze skutecznością filtracji zbliżoną do danych producenta.

Jak pokazują przykładowe wyniki badań taka kontrola jest szczególnie ważna w przypadku ustalenia terminu okreso-

wej wymiany filtra powietrza w centrali HVAC budynków. Zastosowanie układów filtrów powietrza o zbadanej skuteczności filtracji zapewni nie tylko obniżenie stężenia zanieczyszczeń w powietrzu dopływającym do pomieszczeń ze względu na zdrowie, samopoczucie użytkowników, wymagania technologiczne, ale też chroni poszczególne urządzenia w centralach HVAC i przewodach wentylacyjnych przed nadmiernym obciążeniem aerozolami.

Finansowanie

Opracowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego „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 filtrów wentylacyjnych w warunkach rzeczywistego stosowania w instalacjach wentylacji ogólnej”. Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Literatura

- [1] U.S. Environmental Protection Agency. (2025, April 9). Improving your indoor environment. Dostęp online 13.01.2026, <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/improving-your-indoor-environment>
- [2] World Health Organization. (2024, September 23). Sustainable development goal indicator 3.9.1: Mortality attributed to air pollution [Report]. Dostęp online 17.01.2026, from <https://www.who.int/publications/i/item/9789240099142>
- [3] Bartkiewicz, P., & Wojtas, K. (2021). Jakość środowiska wewnętrznego jako składnik systemów kompleksowej oceny budynków. *Instal*, (7–8), 15–19. <https://doi.org/10.36119/15.2021.7-8.2>
- [4] Szczeńiak, S. (2020). Jakie zmiany wprowadza nowa europejska norma PN-EN 13053:2020-05 Wentylacja budynków. *Centrale wentylacyjne i klimatyzacyjne. Klasyfikacja i charakterystyki działania urządzeń, elementów składowych i sekcji. Omówienie podstawowych zmian. Instal*, (12), 31–38. <https://doi.org/10.36119/15.2020.12.4>
- [5] Kulkarni, P., Baron, P. A., & Willeke, K. (Eds.). (2011). *Aerosol measurement: Principles, techniques, and applications* (3rd ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118001684>
- [6] Rosner, D. E., & Arias-Zugasti, M. (2022). 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. *Journal of Aerosol Science*, 164, 106000. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2022.106000>

- [7] Arias-Zugasti, M., Rosner, D. E., & Fernández de la Mora, J. (2019). 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 Science and Technology*, 53(12), 1367–1380. <https://doi.org/10.1080/02786826.2019.1661349>
- [8] Dhaniyala, S., & Liu, B. Y. H. (2001). Theoretical modeling of filtration by nonuniform fibrous filters. *Aerosol Science and Technology*, 34(2), 170–178. <https://doi.org/10.1080/027868201300034763>
- [9] Polski Komitet Normalizacyjny. (2017). PN-EN ISO 16890-1:2017-01. Przeciwpylowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej—Część 1: Specyfikacje techniczne, wymagania i system klasyfikacji skuteczności określony na podstawie wielkości cząstek pyłu (ePM).
- [10] Polski Komitet Normalizacyjny. (2023). PN-EN ISO 16890-2:2023-01. Przeciwpylowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej—Część 2: Pomiar skuteczności filtracji w funkcji wymiaru cząstek oraz oporu przepływu powietrza.
- [11] Polski Komitet Normalizacyjny. (2025). PN-EN ISO 16890-3:2025-02. Przeciwpylowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej—Część 3: Określanie skuteczności filtracji metodą grawimetryczną i oporu przepływu powietrza w zależności od masy zatrzymywanego pyłu.
- [12] Polski Komitet Normalizacyjny. (2023). PN-EN ISO 16890-4:2023-01. Przeciwpylowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej—Część 4: Metoda kondycjonowania mająca na celu wyznaczenie minimalnej badawczej skuteczności filtracji w funkcji wymiaru cząstek.
- [13] Polski Komitet Normalizacyjny. (2018). 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.
- [14] Polski Komitet Normalizacyjny. (2018). 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.
- [15] Polski Komitet Normalizacyjny. (2018). PN-EN ISO 29463-4:2018-11. Wysokoskuteczne filtry i materiały filtracyjne do usuwania cząstek z powietrza—Część 4: Metoda badania szczelności elementów filtru—Metoda skanowania.
- [16] Polski Komitet Normalizacyjny. (2022). 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.
- [17] International Organization for Standardization. (2024). ISO 29463-1:2024. High efficiency filters and filter media for removing particles from air—Part 1: Classification, performance, testing and marking.
- [18] Polski Komitet Normalizacyjny. (2019). PN-EN 1822-1:2019. Wysokoskuteczne filtry powietrza (EPA, HEPA i ULPA)—Część 1: Klasyfikacja, badania właściwości użytkowych, znakowanie.
- [19] Polski Komitet Normalizacyjny. (2023). PN-EN ISO 29462:2023-02. Badanie w warunkach terenowych urządzeń filtracyjnych i systemów stosowanych w wentylacji ogólnej w celu okre-

ślenia ich skuteczności oczyszczania w odniesieniu do wymiarów cząstek i oporów przepływu powietrza.

- [20] Polski Komitet Normalizacyjny. (2012). PN-EN 779:2012. Przeciwpylowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej—Określanie parametrów filtracyjnych [Norma wycofana; zastąpiona przez PN-EN ISO 16890].
- [21] Polski Komitet Normalizacyjny. (2019). PN-EN ISO 21083-1:2019-01. Metoda badania skuteczności materiałów filtrujących powietrze ze

sferycznych nanomateriałów—Część 1: Zakres wielkości od 20 nm do 500 nm.

- [22] Polski Komitet Normalizacyjny. (2019). 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.

[23] Polski Komitet Normalizacyjny. (2020). PN-EN 13053:2020-05. Wentylacja budynków. Centrale wentylacyjne i klimatyzacyjne. Klasyfikacja i charakterystyki działania urządzeń, elementów składowych i sekcji.

[24] Polski Komitet Normalizacyjny. (2008). PN-EN 1886:2008. Wentylacja budynków—Centrale wentylacyjne i klimatyzacyjne—Właściwości mechaniczne.

Woda, ścieki, odpady – infrastruktura i technologia

Trzebnica 20 – 22.05.2026 r.

Komunikat nr 1

Katedra Gospodarki Wodno-Ściekowej
i Technologii Odpadów
na Wydziale Inżynierii Środowiska
Politechniki Wrocławskiej
zaprasza na

Konferencję Naukowo-Techniczną:
objętą patronatem
Sekcji Inżynierii Sanitarnej
Komitetu Inżynierii Łądowej i Wodnej
Polskiej Akademii Nauk
Trzebnica, 20 – 22.05.2026

Tematyka konferencji

Postępujące zmiany środowiskowe, urbanizacyjne oraz coraz większe wymagania w zakresie zrównoważonego rozwoju stawiają nowe wyzwania przed sektorem gospodarki wodno-ściekowej i odpadowej. Rosnące oczekiwania społeczne i regulacyjne dotyczące efektywnego zarządzania zasobami wodnymi, niezawodności infrastruktury oraz wdrażania zasad gospodarki o obiegu zamkniętym wymuszają potrzebę integracji nowoczesnych technologii i rozwiązań organizacyjnych. Wdrażanie innowacyjnych technologii oczyszczania wody i ścieków, modernizacja systemów infrastruktury komunalnej, a także rozwój inteligentnych i zrównoważonych metod przetwarzania odpadów stają się kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa środowiskowego i poprawy jakości życia mieszkańców. W świetle powyższego, celem konferencji jest zaprezentowanie przez jej Uczestników najnowszych osiągnięć naukowych i technologicznych w obszarze inżynierii środowiska w zakresie wody, ścieków i odpadów oraz wymiana wiedzy i doświadczeń

między przedstawicielami środowisk naukowych, przemysłu, administracji oraz firm komunalnych.

Zagadnienia stanowiące tematykę konferencji

- technologie oczyszczania wody
- technologie oczyszczania ścieków
- odnowa wody
- projektowanie, modelowanie i modernizacja systemów dystrybucji wody
- projektowanie, modelowanie i modernizacja systemów usuwania ścieków
- bezpieczeństwo i niezawodność działania infrastruktury krytycznej
- analiza ryzyka działania infrastruktury krytycznej
- zarządzanie i eksploatacja systemów komunalnych
- innowacyjne technologie przetwarzania odpadów
- gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) w praktyce
- inteligentne systemy zarządzania odpadami
- regulacje, ekonomia i wyzwania w gospodarce odpadami
- rola paliw alternatywnych w gospodarce cyrkularnej – od odpadów do energii

Rejestracja

Rejestracja uczestników trwa do 30 listopada 2025 roku.

Zgłoszenia uczestnictwa w Konferencji prosimy dokonać poprzez stronę internetową:

<https://wso.pwr.edu.pl/konferencja/rejestracja-uczestnictwa>

Opłaty

Opłata konferencyjna dla wszystkich uczestników wynosi 2100 zł.

Opłata konferencyjna obejmuje:

- udział w obradach (z prawem do prezentacji jednego komunikatu naukowego, tj. dwunastominutowego referatu lub posteru),
- materiały konferencyjne,

- 2 noclegi z pełnym wyżywieniem (nocleg wcześniejszy lub późniejszy we własnym zakresie; dopłata za pokój jednoosobowy: 300 zł – decyduje kolejność zgłoszeń),

- poczęstunki podczas przerw kawowych,
- udział w uroczystym spotkaniu towarzyskim oraz w wycieczce.

Istnieje możliwość opublikowania jednego artykułu w następujących czasopismach:

- INSTAL 70 pkt
- Archives of Civil Engineering 100 pkt, IF 1.1
- Economics and Environment 100 pkt, IF 1.0
- Archives of Environmental Protection 100 pkt, IF 1.4

Lista czasopism jest obecnie ustalana i będzie na bieżąco aktualizowana.

Opłata za publikację artykułu uzależniona jest od czasopisma i nie jest uwzględniona w opłacie konferencyjnej.

Dane do przelewu

Numer rachunku bankowego:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434
(SANTANDER BANK POLSKA S.A.)

Odbiorca: Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Obowiązuje ten sam numer operacyjny dla wszystkich przelewów według poniższego wzoru:

2001/0025/25, Imię Nazwisko
np. 2001/0025/25, Jan Kowalski

W miarę możliwości prosimy o łączenie opłat i uiszczenie ich w formie jednego przelewu.

Pozostałe ważne terminy

- Streszczenia komunikatów naukowych prosimy przesłać do 31 stycznia 2026 roku
- Termin dokonania opłaty konferencyjnej do 31 stycznia 2026 roku
- Pełne teksty artykułów do czasopism prosimy przesłać do 31 marca 2026 roku

Kontakt

Strona www: <https://wso.pwr.edu.pl/konferencja>; Adres e-mail: konferencja.wso@pwr.edu.pl



Jeszcze można zamawiać prenumeratę
czasopisma INSTAL na 2026 rok