

# ISO 21083 – nowa norma międzynarodowa do określania skuteczności filtracji nanocząstek<sup>1</sup>

dr inż. SZYMON JAKUBIAK

<https://orcid.org/0000-0002-8965-9527>

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Warsaw

## Streszczenie

Nowa norma międzynarodowa ISO 21083 definiuje metodę badania materiałów filtracyjnych podczas filtracji nanocząstek o kształcie zbliżonym do kulistego. Opisana procedura może być stosowana do wyznaczania parametrów operacyjnych materiałów filtracyjnych dowolnych klas. Skuteczność filtracji jest wyznaczana na podstawie uśrednionych wyników uzyskanych dla próbek badanego materiału w stanie wyjściowym oraz po neutralizacji ładunku w oparach 2-propanolu. Norma nie wprowadza podziału na klasy filtrów, a w raporcie końcowym z badań są podawane frakcyjne skuteczności zatrzymywania cząstek. Zakres tematyczny artykułu obejmuje zagadnienia zdrowia oraz bezpieczeństwa i higieny środowiska pracy będące przedmiotem badań z zakresu nauk o zdrowiu oraz inżynierii środowiska.

**Słowa kluczowe:** materiały filtracyjne, nanocząstki, nauki o zdrowiu, inżynieria środowiska.

## WPROWADZENIE

Istnieje wiele norm dotyczących badania filtrów powietrza, spośród których najpowszechniej stosowane to serie norm ISO 29463 *High-efficiency filters and filter media for removing particles in air* (w Polsce PN-EN ISO 29463 Wysokoskuteczne filtry i materiały filtracyjne do usuwania cząstek z powietrza) oraz ISO 16890 *Air filters for general ventilation* (w Polsce PN-EN ISO 16890 Przeciwpływowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej), (Jankowski, Jakubiak 2018). Nowa norma międzynarodowa ISO 21083 definiuje metodę badania materiałów filtracyjnych podczas filtracji nanocząstek o kształcie kulistym. W odróżnieniu od przywołanych serii norm nie wprowadzono ograniczeń w odniesieniu do minimalnej skuteczności zatrzymywania lub przeznaczenia materiałów filtracyjnych, które mogą być poddane badaniu. Skuteczność zatrzymywania nanocząstek określa się na podstawie sprawności początkowej,

a więc dla czystego filtra. Zaproponowana procedura minimalizuje wpływ mechanizmu elektrostatycznego zatrzymywania cząstek, co osiągnięto poprzez zastosowanie neutralizacji ładunku zarówno aerozolu testowego, jak i włókien filtra. Można dzięki temu przyjąć, że otrzymane wyniki skuteczności filtracji odpowiadają najtrudniejszemu pod względem procesowym warunkom pracy badanego materiału.

Dobór właściwej struktury materiału filtracyjnego do konkretnego zastosowania może mieć kluczowe znaczenie, jeśli chodzi o skuteczność zatrzymywania, zużycie energii i długość czasu pracy filtra w zastosowaniach przemysłowych, zarówno takich jak systemy wentylacji ogólnej (Brochot i in. 2019), jak i w analityce (Sobiech i in. 2018). Wydaje się, że to właśnie może być najważniejszym polem zastosowania normy ISO 21083. Dzięki dość krótkiej procedurze badania i możliwości wykorzystania próbek

<sup>1</sup> Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

materiału filtracyjnego o małej powierzchni (a nie gotowych filtrów, jak w przypadku norm ISO 29463 i ISO 16890) istnieje możliwość zaprojektowania lub doboru optymalnej struktury filtra do konkretnego zastosowania. Należy oczywiście pamiętać, że otrzymane wyniki skuteczności zatrzymywania nanocząstek odnoszą się wyłącznie do warunków, w jakich prowadzone jest badanie i nie mogą stanowić podstawy do szacowania parametrów operacyjnych danego materiału w warunkach rzeczywistych.

Norma ISO 21083 składa się z dwóch części, opisujących procedury badania materiałów filtracyjnych podczas filtracji nanocząstek o różnym zakresie

wielkości cząstek. Część pierwsza dotyczy filtracji nanocząstek o wielkości  $20 \div 500$  nm i to jej zalecenia zaprezentowano w niniejszym artykule. Część druga, dotycząca filtracji nanocząstek o wielkości  $3 \div 30$  nm, nie została jeszcze w chwili pisania niniejszego artykułu opublikowana przez Polski Komitet Normalizacyjny.

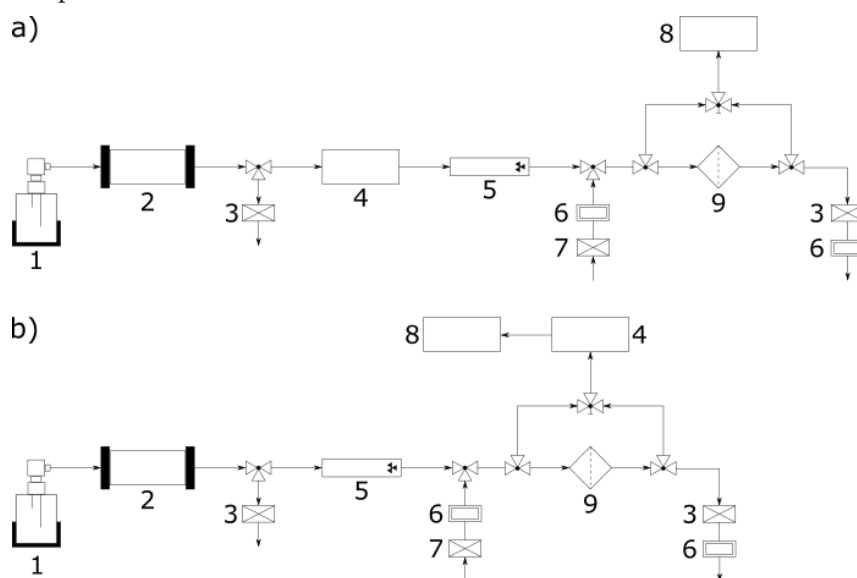
Zakres tematyczny artykułu obejmuje zagadnienia zdrowia oraz bezpieczeństwa i higieny środowiska pracy będące przedmiotem badań z zakresu nauk o zdrowiu oraz inżynierii środowiska.

## STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko badawcze można umownie podzielić na trzy części, które odpowiadają za: generowanie, kondycjonowanie i pomiar stężenia aerozolu testowego. W normie zamieszczono schematy dwóch wariantów stanowiska badawczego, które zaprezentowano na rys. 1. Różnica pomiędzy nimi sprowadza się do miejsca zainstalowania w układzie klasyfikatora elektrostatycznego. Klasyfikator zainstalowany pomiędzy osuszaczem dyfuzyjnym a neutralizatorem ładunku pozwala na prowadzenie obładowania ba-

danego filtra za pomocą aerozolu o monodispersyjnym rozkładzie wielkości cząstek. W przypadku prowadzenia badania z wykorzystaniem aerozolu o polidispersyjnym rozkładzie wielkości cząstek klasyfikator instaluje się bezpośrednio przed licznikiem cząstek.

Zalecenia dotyczące poszczególnych komponentów stanowiska zaprezentowano w dalszej części artykułu.



**Rys. 1.** Schematy stanowiska do badania materiałów włókninowych podczas obładowywania aerozolem o monodispersyjnym (a) i polidispersyjnym (b) rozkładzie wielkości cząstek: 1 – generator aerozolu; 2 – osuszacz dyfuzyjny; 3 – filtr wysokoskuteczny; 4 – klasyfikator elektrostatyczny; 5 – neutralizator ładunku; 6 – regulator przepływu; 7 – jednostka przygotowania powietrza; 8 – kondensacyjny licznik cząstek; 9 – uchwyt próbki filtra

## AEROZOL TESTOWY

Badanie skuteczności filtracji prowadzi się przy wykorzystaniu aerozolu złożonego z cząstek o kształcie kulistym lub zbliżonym. Wymaganie dotyczące kształtu cząstek ma na celu wyeliminowanie wpływu morfologii cząstek na wyniki pomiarów skuteczności zatrzymywania. Aby spełnić to wymaganie, proponowane jest stosowanie generatorów aerozolu wykorzystujących zjawisko atomizacji cieczy. Do wytworzenia kropeł proponuje się stosowanie oleju DEHS (sebacynianu dietyloheksylu) z dodatkiem odpowiedniego rozpuszczalnika organicznego (w celu zmiany napięcia powierzchniowego dla oleju DEHS zwykle stosuje się 2-propanol) lub innej substancji dozwolonej do użycia przez producenta generatora. W załącznikach do tekstu normy znajduje się lista 11 przykładowych generatorów aerozolu testowego kompatybilnych z wymaganiami normy, będących w ofercie wiodących producentów aparatury do badania materiałów filtracyjnych (Collison, TSI, Topas oraz Palas), jednak co do zasady można wykorzystać dowolny generator zdolny do wytworzenia aerozolu o stężeniu powyżej 1 000 cząstek na centymetr sześcienny w przedziale wielkości  $20 \div 500$  nm.

Aerozol testowy podlega dwustopniowemu kondycjonowaniu. W pierwszym stopniu eliminowany jest rozpuszczalnik organiczny za pomocą osuszacza dyfuzyjnego z odpowiednio dobranym złożem pochłaniającym (np. dla 2-propanolu z żelazem krzemionkowym). W drugim stopniu ładunek aerozolu jest doprowadzany do stanu równowagowego odpo-

wiadającego rozkładowi Boltzmana. Warto tu podkreślić, że nie chodzi o zneutralizowanie ładunku poszczególnych cząstek, ale o uzyskanie sytuacji, gdzie ładunki poszczególnych cząstek pozostają w stanie równowagowym, co przekłada się na neutralny ładunek aerozolu jako ich zbioru.

Istotną kwestią jest również dobór odpowiedniego stężenia aerozolu, które musi być odpowiednio wysokie, aby uzyskać istotność statystyczną, ale też na tyle niskie, aby nie przekraczać górnego zakresu pomiarowego stosowanego licznika cząstek oraz nie powodować wzrostu skuteczności zatrzymywania i oporów przepływu w wyniku depozycji cząstek na filtrze. Po zakończeniu cyklu badań przeprowadza się sprawdzenie wpływu obciążenia filtra na skuteczność zatrzymywania cząstek najbardziej penetrujących. W przypadku stwierdzenia wzrostu skuteczności zatrzymywania tych cząstek w stosunku do badania przeprowadzonego dla czystego materiału zebrane wyniki pomiarów są odrzucane, a badanie jest powtarzane przy wykorzystaniu aerozolu o mniejszym stężeniu. Poza ustawieniami parametrów operacyjnych generatora na stężenie aerozolu można wpływać poprzez odprowadzenie ze stanowiska części strumienia wychodzącego z osuszacza dyfuzyjnego oraz rozcieńczenie aerozolu po neutralizacji ładunku strumieniem przefiltrowanego powietrza. Jako minimalną wartość stężenia aerozolu sugeruje się 1 000 cząstek na centymetr sześcienny w odniesieniu do cząstek o wielkości  $20 \div 500$  nm.

## LICZNIK CZĄSTEK

Do oznaczania stężenia cząstek aerozolu testowego przed i za badanym materiałem filtracyjnym stosuje się kondensacyjne liczniki cząstek (CPC). Zastosowane urządzenie musi być w stanie zliczać cząstki o wielkości  $20 \div 500$  nm, nie ma natomiast określonych wymagań dotyczących rozdzielczości pomiaru. Licznik powinien operować w trybie zliczania pojedynczych cząstek oraz być kalibrowany przynajmniej raz do roku.

Ponieważ natężenie przepływu aerozolu przez licznik ma istotny wpływ na otrzymywane wyniki pomiarów, niezbędne jest przeprowadzenie testu stabilności przepływu dla linii poboru pyłu od strony dopływu (przed filtrem) i odpływu (za filtrem). Test wykonuje się poprzez zamontowanie w uchwycie

materiału filtracyjnego o dużym oporze lub płyty perforowanej, co powoduje występowanie różnicy ciśnień po obu stronach przegrody. Wyższe ciśnienie od strony dopływu będzie wymuszało zwiększenie przepływu w linii poboru aerozolu przed filtrem, co powinno zostać skorygowane przez sterownik pompy licznika. Przepływy w obu liniach nie powinny różnić się o więcej niż 5% w stosunku do nominalnego przepływu danego licznika oraz nie o więcej niż 2% w stosunku do siebie.

W celu potwierdzenia poprawności funkcjonowania licznika należy przeprowadzić również test zerowy. Polega on na zamontowaniu na linii doprowadzającej aerozol filtru o wysokiej skuteczności (HEPA lub wyższej) i określeniu liczby zliczanych

cząstek przez 1 minutę skanu. Poprawnie funkcjonujący licznik powinien w tym czasie zliczyć poniżej dwóch cząstek.

Badanie skuteczności filtracji można wykonywać za pomocą jednego lub dwóch liczników. Jeśli stosowany jest jeden licznik, należy pamiętać o tym, aby nie wykonywać pomiaru stężenia cząstek bezpośrednio po przełączeniu linii poboru aerozolu. Niezależnie od tego czy stosowany jest jeden licznik czy dwa, na-

leży każdorazowo wyznaczyć współczynnik korelacji pomiaru. Ma to na celu uwzględnienie zmniejszania się stężenia aerozolu w wyniku depozycji cząstek w przewodach na odcinku pomiędzy punktami poboru aerozolu do licznika w przypadku stosowania jednego licznika lub uwzględnienie różnic w wynikach uzyskiwanych przez dwa liczniki próbujące ten sam aerzol.

## PRZYGOTOWANIE PRÓBEK MATERIAŁU

Badanie prowadzi się dla próbek materiału filtracyjnego o powierzchni czynnej wynoszącej co najmniej 100 cm<sup>2</sup>. Należy przy tym pamiętać, że w przypadku stosowania próbek większych niż 100 cm<sup>2</sup> konieczne jest przeprowadzenie testu jednorodności stężenia aerozolu wewnątrz komory, gdzie mocowany jest filtr. Test wykonuje się poprzez przeprowadzenie pomiarów stężenia aerozolu w centralnym punkcie komory oraz środkach czterech obszarów o równej powierzchni, na które można podzielić badany materiał filtracyjny, przy prędkościach przepływu: 0,02; 0,05 oraz 0,1 m/s. Stężenie aerozolu w każdym z punktów nie może różnić się o więcej niż 15% w stosunku do wartości średniej wyznaczonej dla danej prędkości przepływu.

W części normy dotyczącej sposobu przygotowywania próbek materiału zaleca się, aby badaniu poddane były co najmniej trzy próbki materiału filtracyjnego o powierzchni czynnej co najmniej 0,01 m<sup>2</sup> każda, przy czym łączna powierzchnia czynna powinna wynosić co najmniej 0,06 m<sup>2</sup>. Z zapisu tego wynika, że w przypadku stosowania próbek materiału filtracyjnego o powierzchni 0,01 m<sup>2</sup> (np. w postaci krążków o średnicy około 11,3 cm) badaniu poddane powinno zostać co najmniej sześć próbek. W części dotyczącej analizy wyników znajduje się jednak zapis uzależniający łączną liczbę próbek od minimalnej skuteczności zatrzymywania wyznaczonej dla pierwszej przebadanej próbki. Jeśli wartość ta będzie niższa od 85%, zaleca się powtórzenie pomiarów dla pięciu kolejnych próbek, jeśli natomiast będzie wynosiła co najmniej 85%, cykl badań zaleca się powtórzyć dla dwóch kolejnych próbek.

### Przebieg badania

Badanie materiału filtracyjnego składa się z kilku etapów. Pierwsze dwa to sprawdzenie szczelności stanowiska pomiarowego oraz wykonanie pomiaru

zerowego na przefiltrowanym powietrzu. Następnie jest wyznaczany spadek ciśnienia dla próbki materiału przy przepływie nominalnym. W kolejnym kroku wyznacza się współczynnik korelacji pomiaru przy nominalnym natężeniu przepływu i włączonym generatorze cząstek, ale bez obecności badanej próbki w uchwycie. Metoda wyznaczania współczynnika korelacji jest analogiczna do tej opisanej w normie PN-EN ISO 16890-2, przy czym jego wartość wyznacza się z co najmniej trzech serii pomiarów z obu linii poboru pyłu, trwających co najmniej 1 minutę każdy. Analogicznie prowadzi się w kolejnym kroku pomiar skuteczności zatrzymywania cząstek po umieszczeniu próbki badanego materiału w uchwycie.

Kolejnym etapem jest neutralizacja ładunku włókniny, którą prowadzi się zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 29461-1. Próbkę włókniny umieszcza się na ażurowej podstawie w szczelnie zamykanym zbiorniku, do którego wlewa się 2-propanol w ilości odpowiadającej wysokości 10 mm słupa cieczy od dna. Próbka powinna pozostać w zbiorniku przez 24 godziny, a po upływie tego czasu powinna zostać umieszczona na ażurowej podstawie pod wyciągiem laboratoryjnym na 15 minut w celu wyschnięcia. W dalszej kolejności próbkę montuje się w uchwycie na stanowisku pomiarowym i przepłukuje suchym, czystym powietrzem przez 30 minut, a następnie ponawia pomiary oporów przepływu i skuteczności zatrzymywania. Jeśli wyniki skuteczności różnią się o więcej niż 3% lub opory przepływu o więcej niż 5 Pa w stosunku do tych otrzymanych przed neutralizacją, należy ponowić etap płukania suchym, czystym powietrzem.

### Analiza wyników

W normie ISO 21083 nie wprowadzono klas filtrów zależnych od wyników badań. W raporcie końcowym są podawane frakcyjne skuteczności zatrzymywania

cząstek w formie tabeli z wynikami poszczególnych pomiarów dla wszystkich przebadanych próbek oraz w formie tabeli i wykresu prezentujących wartości uśrednione. Nie określa się natomiast średniej wartości skuteczności, która w oczywisty sposób byłaby zależna od kształtu rozkładu liczby cząstek pyłu

w poszczególnych przedziałach wielkości. W raporcie są zawarte również wyniki pomiarów oporów przepływu w formie tabeli i wykresu. W załącznikach zamieszczono ponadto wytyczne do przeprowadzenia analizy statystycznej otrzymanych wyników.

## PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono najistotniejsze zalecenia dotyczące sposobu badania materiałów filtracyjnych podczas filtracji nanocząstek zawarte w normie ISO 21083-1. Nowa norma może mieć duże znaczenie praktyczne dla producentów i odbiorców materiałów filtracyjnych przeznaczonych do filtracji nanocząstek, umożliwiając porównywanie parametrów użytkowych produktów dostępnych na rynku międzynarodowym. Znajdzie ona również zastosowanie w przypadku prowadzenia prac badawczo-rozwojowych

ukierunkowanych na projektowanie optymalnej struktury materiału filtracyjnego do konkretnego zastosowania. Warto przy tym wspomnieć, że w Pracowni Aerozoli, Filtracji i Wentylacji CIOP-PIB są prowadzone badania materiałów filtracyjnych zgodnie z wymaganiami normy.

## PIŚMIENNICTWO

*Brochot C., Abdolghader P., Haghghat F., Bahloul A. (2019). Filtration of nanoparticles applied in general ventilation. Science and Technology for the Built Environment 25-2, 114–127.*

*Jankowski T., Jakubiak S. (2018). Parametry użytkowe filtrów powietrza w ogólnej wentylacji i klimatyzacji – nowe wymagania norm i wyniki badań własnych. Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka 6, 16–21.*

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

PN-EN ISO 29461-1:2013 Systemy filtracji powietrza wlotowego do maszyn rotacyjnych – Metody badań – Część 1: Statyczne elementy filtracji.

*Sobiech P., Jakubiak S., Oberbek P., Kozikowski P., Jankowski T. (2018). Wpływ struktury i porowatości wybranych materiałów filtracyjnych stosowanych w analizie grawimetrycznej na skuteczność zatrzymywania nanocząstek. Rocznik Ochrona Środowiska 20, 1402–1417.*

### Adres do korespondencji:

dr inż. SZYMON JAKUBIAK

e-mail: [szymon.jakubiak@ciop.pl](mailto:szymon.jakubiak@ciop.pl)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16

POLAND



# ISO 21083 – new international standard for determination of nanoparticles filtration efficiency<sup>1</sup>

SZYMON JAKUBIAK, Ph.D. (Eng.)

<https://orcid.org/0000-0002-8965-9527>

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Central Institute for Labour Protection – National Research Institute, Warsaw

## Abstract

The new international standard ISO 21083 provides a method of testing filter media during the filtration of spherical shaped nanoparticles. The described procedure can be used to determine operating parameters of filtration materials of any classes. The filtration efficiency is determined on the basis of averaged results obtained for samples of the tested material in the initial state and after neutralization of the charge in the 2-propanol vapour. The standard does not introduce a division into filter classes, and in the final report of the tests, fractional particle retention efficiencies are given. This article discusses the problems of occupational safety and health, which are covered by health sciences and environmental engineering.

**Keywords:** filter media, nanoparticles, health sciences, environmental engineering.

## INTRODUCTION

A large number of standards for testing air filters exist such as the most widely applied ISO 29463 *High-efficiency filters and filter media for removing particles in air series* and ISO 16890 *Air filters for general ventilation series* (in Poland PN-EN ISO 29463 and PN-EN ISO 16890 standards respectively), (Jankowski, Jakubiak 2018). The new international standard ISO 21083 aims to standardize the methods of determining the efficiencies of filter media against spherical nanoparticles. Unlike the above-mentioned standard series, ISO 21083 imposes no limitations with regard to the minimum retention efficiency or the intended use of filter media that can be subject to testing. The nanoparticle retention efficiency of a filter medium is determined based on its initial efficiency in a clean filter. The proposed procedure minimizes the impact of the mechanism of electrostatic retention of particles, which was achieved by applying charge

neutralization to both the test aerosol and the filter fibres. It can be assumed that the obtained filtration efficiency results correspond to the most demanding process operating conditions of the tested media.

The selection of the right structure of the filter material for a specific application can be essential for nanoparticles retention efficiency, energy consumption and filter longevity in industrial applications such as general air ventilation systems (Brochot *et al.* 2019) and in analytics (Sobiech *et al.* 2018). This area seems to be the most important field of application of the ISO 21083 standard. The short testing procedure and the possibility of using filter media samples with a small area (instead of ready-made filters defined in ISO 29463 and ISO 16890 standards) enables designing or choosing an optimal filter structure for a specific application. It must be also noted that the obtained results of the

<sup>1</sup> This paper is based on the results of phase IV of the multiannual National Programme for the Improvement of Safety and Working Conditions subsidised by the Ministry of Family, Labour and Social Policy between 2017 and 2019 within the framework of tasks of governmental services. Programme coordinator: Central Institute for Labour Protection – National Research Institute.

retention efficiency of nanoparticles relate only to the testing setting and cannot be used to determine operating parameters of various filter media in real-life conditions.

The ISO 21083 standard consists of two parts that describe the procedures for testing filter media during the filtration of nanoparticles with different particle size ranges. The first part, whose recommendations are presented in this article,

concerns the filtration of nanoparticles in the size range of 20 to 500 nm. The second part concerning the filtration of nanoparticles in the size range of 3 to 30 nm had not been published by the Polish Committee for Standardization when this article was prepared.

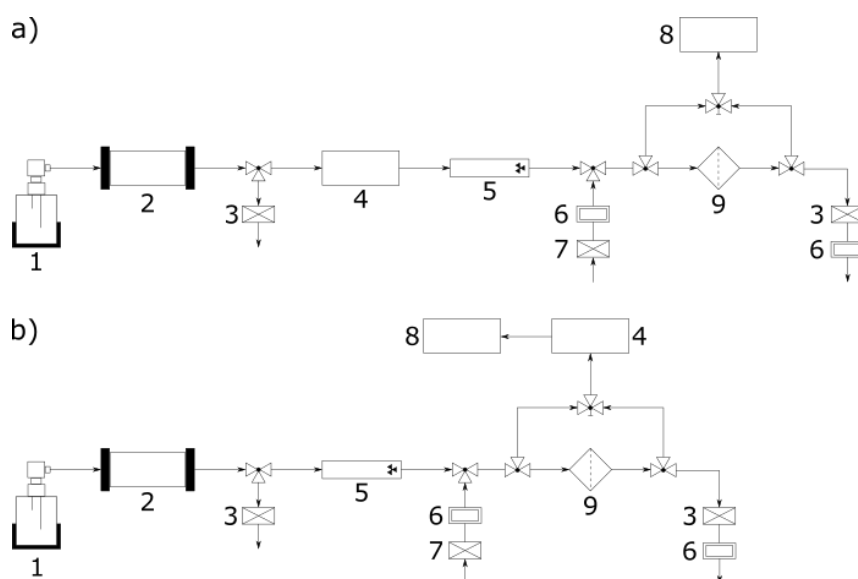
This article discusses the problems of occupational safety and health dealt with by health sciences and environmental engineering.

## TEST SETUP

The test setup can be symbolically divided into three sections responsible for generating, conditioning and measuring the concentration of the test aerosol. The standard contains diagrams of two test setup variants, both presented in fig. 1. They differ in the place of the installation of an electrostatic classifier in the system layout. The installation of the classifier between the diffusion dryer and the charge neutralizer

enables loading the tested filter with aerosols with a monodisperse particle size distribution. For testing aerosols with a polydisperse particle size distribution, the classifier is installed before the particle counter.

Recommendations regarding individual components of the test setup are presented in a subsequent part of this article.



**Fig. 1.** Diagrams of the test setting for testing nonwoven materials during loading with monodisperse aerosol (a) and polydisperse aerosol (b) particle size distribution: 1 – aerosol generator; 2 – diffusion dryer; 3 – high-efficiency filter; 4 – electrostatic classifier; 5 – charge neutraliser; 6 – flow regulator; 7 – air conditioning unit; 8 – condensation particle counter; 9 – filter media sample holder

## TEST AEROSOL

The filtration efficiency test is carried out using aerosol consisting of spherical or nearly-spherical particles. This requirement concerning the particle shape is intended to eliminate the influence of the morphology of particles on the results of particle retention efficiency measurements. To meet this requirement, using liquid atomization aerosol generators is recommended. DEHS (di-ethylhexyl

sebacate) oil in a suitable organic solvent (typically 2-propanol is used to modify the surface tension of DEHS oil) or another substance allowed by the generator manufacturer's specification is recommended to generate the test aerosol. The annexes to the standard include a list of 11 generators of test aerosol compatible with the requirements of the standard, offered by leading manufacturers of



equipment for testing filter media (Collison, TSI, Topas and Palas), however any other generator capable of producing droplets with a minimum concentration of over 1,000 particles per cubic centimetre in the particle size range of 20 to 500 nm can be used.

The test aerosol from the aerosol generator is conditioned in two stages. In the first stage, the organic solvent is neutralized in a diffusion dryer with a suitable absorbing bed (e.g. for 2-propanol with silica gel). In the second stage, the aerosol charge is brought to the equilibrium state corresponding to the Boltzmann distribution. It must be emphasized here that the intention is not to neutralize the charge of individual particles, but to sustain the charge of individual particles in a state of equilibrium, which results in obtaining neutralized aerosol as a collection of particles.

Aerosol concentration is also an important issue, as it must be high enough to be statistically significant,

but at the same time low enough not to exceed the upper measuring range of the particle counter and not to increase the efficiency of retention and flow resistance due to the deposition of particles on the filter. At the conclusion of the test, the focus is on the measurement of the correlation ratio for the loading of the filter and its retention efficiency against the most penetrating particles. If a higher efficiency of the retention of these particles compared to a clean filter media is observed, the collected measurement data for the clean media is rejected and another test is carried out using lower concentration aerosol. In addition to operating parameters of the generator, the aerosol concentration can be controlled by removing part of the stream coming out of the diffusion dryer and diluting the neutralized aerosol with a stream of filtered air. The recommended minimum aerosol concentration is 1,000 particles per cubic centimetre in the particle size range of 20 to 500 nm.

## PARTICLE COUNTER

A condensation particle counter (CPC) is used to measure the particle concentration upstream and downstream of the filter. The counter must be capable of counting particles in the size range of 20 to 500 nm, however no specific requirements have been established for measurement resolution. The counter, that must be calibrated once a year, should be also used in concentration mode.

As the flow rate of the aerosol through the counter can significantly affect the measurement results, it is then necessary to perform an air flow rate stability test upstream (before) and downstream (after) of the filter. This test is performed using a high-resistance filter medium or a perforated plate installed in a holder to produce pressure difference before and after the barrier. A higher upstream pressure will force a higher flow rate of the aerosol upstream of the filter, which should be adjusted by the counter pump controller. The difference in the flow rate values in either line should not exceed 5% in relation to the nominal flow rate of the counter and be below 2% in relation to each other.

In order to confirm the measurement accuracy of the counter, a zero test should also be carried out. It is performed using a high-efficiency filter (at least a HEPA-grade filter) installed in the aerosol feeding line to determine the number of counted particles during a one-minute scanning interval. A properly calibrated counter should detect below two particles.

Filtration efficiency can be tested using one or two counters. If one counter is used, it is important not to measure the particle concentration immediately after switching the aerosol intake line. Regardless of whether one or two counters are used, the measurement correlation ratio must be measured each time to determine the decrease in the aerosol concentration due to the deposition of particles in the ducts between the aerosol intake points to the counter, if one counter is used, or to take into account different readings from two counters sampling the same aerosol.

## MEDIA SAMPLE PREPARATION

The test is carried out on samples of filter media with an active surface area of at least 100 cm<sup>2</sup>. It should be noted that for samples with an area larger than

100 cm<sup>2</sup>, it is necessary to test the uniformity of the test aerosol concentration inside the chamber where the filter is installed. The aerosol concentration test

is carried out in the central point of the chamber and in the centres of four fields of equal area marked out on the tested filter media, at flow rates of 0.02; 0.05 and 0.1 m/s. The differences between the test aerosol concentration at each point and the average value determined for each flow rate cannot exceed 15%.

In the section on the media sample preparation method of the standard text, it is recommended that at least three samples of filter media with an active surface area of at least 0.01 m<sup>2</sup> each should be tested, but the total active surface area should be at least 0.06 m<sup>2</sup>. Thus, at least six filter media samples with surface area of 0.01 m<sup>2</sup> (e.g., in the form of discs with a diameter of approximately 11.3 cm) should be tested. However, in the section on the analysis of test results of the standard text it is pointed out that the total number of filter media samples is dependent on the value of the minimum retention efficiency determined for the first tested sample. If this value is below 85%, it is recommended to repeat the measurements on five consecutive samples, and if the value is 85% or higher, it is recommended to repeat the test cycle on two consecutive samples.

### Test procedure

The procedure for testing filter media is divided into several stages. In the first two stages the testing system is checked for air leaks and a zero count test on filtered air is carried out. Then a pressure drop across the sample at the nominal flow is determined. In the next stage, the measurement correlation ratio is determined at the nominal flow rate and the particle generator switched on, but without the sample filter medium installed in the filter medium holder. The method of determining the correlation ratio is analogous to that described in the PN-EN ISO 16890-2 standard, but the ratio is determined based on at least three measurements taken on both

particulate intake lines, lasting at least one minute each. In the next stage, the same method is applied to measure the retention efficiency of media samples installed in the filter media holder.

Then the filter media charge neutralization according to the PN-EN ISO 29461-1 standard is performed. A nonwoven fabric sample is placed on an openwork base in a sealed container filled with 2-propanol to the level of 10 mm liquid column measured from the bottom. After 24 hours the sample is removed from the container, placed on an openwork base and left in a fume hood for 15 minutes to dry. Next, the sample is installed in the filter media holder and blown through by a stream of dry, clean air for 30 minutes and then used to measure its flow resistance and particle retention efficiency. If the difference in the measured values exceeds 3% for filtering efficiency and 5 Pa for flow resistance when compared to the values determined prior to neutralization, the sample must be once again blown through by a stream of dry, clean air.

### Results analysis

The ISO 21083 standard does not introduce a division into filter classes depending on test results. The final report must contain fractional particle retention efficiencies presented in a table with measurement results for each of the tested filter media samples. The averaged values must be presented in another table and a graph. However, no averaged effectiveness value is determined that would be directly dependent on the shape of the distribution of the number of dust particles in each particle size range. The report must also include the results of flow resistance measurements presented in a table and a graph. Guidelines for statistical analysis of the obtained results are provided in the annexes to the standard text.

## CONCLUSION

This article presents the most important recommendations regarding the method of testing filter media during filtration of nanoparticles described by the ISO 21083-1 standard. The new standard can be of great practical importance for manufacturers and users of filter media intended for filtration of nanoparticles, because it enables them to compare the performance parameters of filtering products

available on the international market. The standard can also be applied in research and development activities focused on designing the optimal structure of filter media in diverse applications. It is worth noting that filter media are tested at the CIOP-PIB Aerosols, Filtration and Ventilation Laboratory in accordance with the requirements of the standard.

## BIBLIOGRAPHY

Brochot C., Abdolghader P., Haghghat F., Bahloul A. (2019). Filtration of nanoparticles applied in general ventilation. *Science and Technology for the Built Environment* 25-2, 114–127.

Jankowski T., Jakubiak S. (2018). Parametry użytkowe filtrów powietrza w ogólnej wentylacji i klimatyzacji – nowe wymagania norm i wyniki badań własnych [Utility parameters of air filters used in general ventilation and air conditioning systems – new requirements of standards and results of own research]. *Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka* [Occupational Safety] 6, 16–21.

PN-EN ISO 16890-2:2017 Przeciwpyłowe filtry powietrza do wentylacji ogólnej - Część 2: Pomiar skuteczności filtracji w funkcji wymiaru cząstek oraz oporu przepływu powietrza [Air filters for general ventilation – Part 2: Measurement of fractional efficiency and air flow resistance].

PN-EN ISO 29461-1:2013 Systemy filtracji powietrza wlotowego do maszyn rotacyjnych – Metody badań – Część 1: Statyczne elementy filtracji [Air intake filter systems for rotary machinery – Test methods – Part 1: Static filter elements].

Sobiech P., Jakubiak S., Oberbek P., Kozikowski P., Jankowski T. (2018). Wpływ struktury i porowatości wybranych materiałów filtracyjnych stosowanych w analizie grawimetrycznej na skuteczność zatrzymywania nanocząstek [Influence of Structure and Porosity of Selected Filtration Materials Used in Gravimetric Analysis on the Retention Efficiency of Nanoparticles]. *Rocznik Ochrona Środowiska* [Annual Set The Environment Protection] 20, 1402–1417.

### Contact details:

dr inż. SZYMON JAKUBIAK

e-mail: [szymon.jakubiak@ciop.pl](mailto:szymon.jakubiak@ciop.pl)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16

POLAND