



Metody oczyszczania powietrza w pomieszczeniach budynków

Człowiek spędzający czas wewnątrz i na zewnątrz budynków na terenach zurbanizowanych jest narażony na wdychanie substancji chemicznych w postaci par i gazów oraz pyłów zawieszonych PM₁₀, PM_{2.5} i PM₁ w powietrzu atmosferycznym. Niekorzystne warunki wewnątrz budynków mogą skutkować poważnymi dolegliwościami zdrowotnymi u człowieka przejawiającymi się syndromem chorego budynku (SBS – ang. sick building syndrome).

Zgodnie z aktualnie wdrażaną dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniającą dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków oraz dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej [1] wszystkie budynki wybudowane po 31 grudnia 2020 r. muszą spełniać wysokie standardy energooszczędności. Muszą charakteryzować się niemal zerowym zużyciem energii, stąd istnieje ryzyko, że dążenie do energooszczędności może wpłynąć negatywnie na jakość powietrza i klimat wewnętrzny w pomieszczeniach [2, 3]. Szczególne znaczenie mają działania dotyczące optymalizacji pracy i racjonalnego wykorzystywania systemów filtracji, wentylacji i klimatyzacji zastosowanych wewnątrz budynków, w tym także różnych rodzajów oczyszczaczy powietrza.

dr inż. Tomasz Jankowski

Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy,
Pracownia Aerozoli, Filtracji i Wentylacji

W celu zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniach, zwłaszcza na terenach zurbanizowanych, wymagane jest prawidłowe oczyszczanie powietrza w instalacjach filtracji, wentylacji i klimatyzacji budynków, ale także w przenośnych oczyszczaczach powietrza. Podejmowanie działań zmierzających do eliminowania zagrożenia zanieczyszczeniami powietrza w środowisku pracy człowieka jest zdeterminowane wymaganiami dyrektyw Unii Europejskiej 89/391/EWG i 98/24/WE [4, 5].

OCZYSZCZANIE POWIETRZA

Zgodnie z definicją zawartą w dokumencie kanadyjskiej instytucji Narodowej Rady Badań Naukowych (NRC) za prze-

nośne oczyszczacze powietrza należy uznać urządzenia pobierające energię, w tym zasilane bateryjnie, które są wykorzystywane do zmniejszenia poziomu zanieczyszczeń w powietrzu pomieszczeń, w tym: stężenia pyłów, dymu tytoniowego, alergenów, mikroorganizmów (bioaerozoli, bakterii, wirusów, pleśni), substancji chemicznych i odorów.

Wśród oczyszczaczy powietrza można wymienić m.in. urządzenia działające na różnych zasadach, tj. oczyszczające powietrze wskutek filtrowania na filtrach wysoko skutecznych, węglowych, utleniania fotokatalicznego, elektrofiltrów, jonizatorów, generatorów ozonu i innych. Przenośne oczyszczacze powietrza mogą być projektowane jako urządzenia o dowolnej wielkości i lokalizacji w pomieszczeniu, m.in.:

- wolno stojące,
- ściennie,
- sufitowe.

Ze względu na coraz większą świadomość społeczeństw dotyczącą jakości powietrza oczyszczacze zyskują na popularności. Duży rozwój technologii oczyszczaczy powietrza w ostatnich latach był spowodowany również pandemią wirusa SARS-CoV-2. Na portalu WHO [6] znajdują się zalecenia dotyczące stosowania przenośnych oczyszczaczy powietrza umożliwiających usuwanie cząstek o wielkościach w zakresie od 0,1 do 1,0 μm w budynkach, które nie są wyposażone w systemy skutecznej, centralnej instalacji wentylacji mechanicznej. Podobne zalecenia zostały wydane w 2005 r. przez Centrum Kontroli i Prewencji Chorób (CDC). CDC zalecało stosowanie przenośnych oczyszczaczy powietrza wyposażonych w filtry wysoko skuteczne w celu ograniczenia przenoszenia różnych wirusów.

Wiele badań wskazuje na zasadność stosowania oczyszczaczy powietrza w klinikach dentystycznych, na salach pacjentów, oddziałach ratunkowych, intensywnej terapii. Zwłaszcza w zamkniętych i słabo wentylowanych pomieszczeniach główną drogą zakażenia SARS-CoV-2 był kontakt z wirusem poprzez aerozol emitowany przez ludzi, zawierający krople o średnicy poniżej 1 mm. Badania dotyczące transmisji wirusa SARS-CoV-2 wykazały, że skuteczność oczyszczaczy powietrza może sięgać nawet 80%. Istotne jest przestrzeganie zaleceń producenta oczyszczacza powietrza co do kubatury pomieszczeń, dla których był projektowany. Badania naukowe jednoznacznie wskazują, że stosowanie oczyszczaczy powietrza może nieść wiele korzyści. Na przykład wykorzystuje się je w celu eliminacji alergenów. Z metaanalizy danych zawartej w pracy [7] wynika, że wraz ze wzrostem stężenia zanieczyszczeń powietrza (zwłaszcza frakcji PM_{2,5}) wzrasta ryzyko występowania zwiększonego ciśnienia krwi. Jednocześnie inna metaanaliza [8] wskazuje, że stosowanie oczyszczaczy powietrza może się przyczynić do nieznacznego, ale statystycznie istotnego obniżenia ciśnie-

nia krwi. Skuteczność redukcji poziomu zanieczyszczeń powietrza przez oczyszczacze może być uzależniona od szczelności okien, która wpływa na ilość powietrza infiltrującego do wnętrza pomieszczenia. Z kolei w badaniach [9] skuteczność przenośnych oczyszczaczy powietrza obliczana na podstawie ilorazu stężenia frakcji wewnątrz budynku i stężenia frakcji w powietrzu zewnętrznym wynosiła 24–43% dla cząstek ultradrobnych, 23–53% dla frakcji PM_{2.5} i 7–37% dla frakcji PM₁₀. W przeglądowej pracy [8] rozpiętość skuteczności oczyszczaczy dla frakcji PM_{2.5} była jeszcze większa i wynosiła od 23 do 82%. Fermo i inni donoszą, że skuteczność oczyszczaczy powietrza w odniesieniu do frakcji PM₁₀ wynosiła nawet 90% [10]. Należy jednak pamiętać, że wraz z czasem użytkowania skuteczność oczyszczaczy powietrza może maleć.

Rynek oczyszczaczy powietrza rozwija się dynamicznie zarówno na świecie, jak i w Polsce. Jak pokazują prognozy dla światowego rynku, skumulowany roczny wskaźnik wzrostu (CAGR) na lata 2020–2027 będzie wynosił 8,54%. Rynek urządzeń służących do poprawy jakości powietrza w pierwszym kwartale 2020 r. w Polsce osiągnął wartość 50 mln zł, z czego 80% przypadało na oczyszczacze powietrza [11].

METODY BADANIA OCZYSZCZACZY POWIETRZA

W celu określania skuteczności działania oczyszczaczy powietrza, a także możliwości porównywania urządzeń między sobą opracowano i ustandaryzowano kilka metod badawczych. Część z nich uwzględnia jedynie redukcję zanieczyszczeń powietrza różnymi cząstkami stałymi. Inne metody dotyczą jeszcze szkodliwych czynników gazowych [12]. Są dwa główne podejścia do badania oczyszczaczy powietrza. Pierwszym z nich jest badanie mające na celu określenie wskaźnika szybkości dostarczania czystego powietrza CADR (ang. clean air delivery rate), a drugim – wyznaczenie wskaźnika SPE (ang. sin-

gle-pass efficiency), tj. skuteczności usuwania zanieczyszczeń po jednokrotnym przepuszczeniu powietrza przez filtr. Jednak zdecydowanie większa część badań opiera się na wyznaczeniu wskaźnika CADR [12].

Podczas wyznaczania wskaźników można wyróżnić dwie metody określane jako pull-down (PD) oraz single pass (SP). Metoda PD jest najczęściej stosowana przy badaniu oczyszczaczy powietrza i wykorzystywana do wszystkich technologii budowy oczyszczaczy.

Metoda PD polega na wyznaczaniu wskaźnika CADR na podstawie badań redukcji zanieczyszczeń (cząstek stałych lub gazów) w czasie. Badania prowadzone są w komorze badawczej, przy zachowaniu ciągłej recyrkulacji powietrza. Metoda ma trzy główne etapy: podawania cząstek stałych lub gazu do komory, statyczny (kwazistatyczny) oraz dynamiczny. Po wprowadzeniu do komory zanieczyszczeń następuje okres, który charakteryzuje się stabilnymi początkowymi, wysokimi poziomami stężeń. Po uruchomieniu oczyszczacza powietrza zaczyna się etap dynamiczny, w którym mierzy się zmiany stężenia zanieczyszczeń w czasie [13]. Wskaźnik CADR określa, ile w ciągu godziny dany oczyszczacz może dostarczyć powietrza bez zanieczyszczeń. Wskaźnik ten uwzględnia procesy naturalnego obniżania się stężenia cząstek, gdy oczyszczacz powietrza jest wyłączony. Dzięki wskaźnikowi CADR można określić, dla jakiej kubatury pomieszczenia jest możliwe optymalne zastosowanie danego modelu oczyszczacza powietrza [13]. Wadą wskaźnika CADR jest brak uwzględnienia obniżania skuteczności oczyszczacza powietrza w czasie. Należy również pamiętać, że jest on wyznaczany dla największego strumienia objętości powietrza, z jakim pracuje oczyszczacz powietrza [12]. Stowarzyszenie AHAM wprowadziło normę [13], która określa procedury oceny skuteczności oczyszczaczy powietrza w czasie. Norma ta obejmuje proces obciążania oczyszczacza zanieczyszczeniami oraz określanie zmiany

wskaźnika CADR po 90 dniach symulowanej eksploatacji urządzenia. Długoterminowe badania działania oczyszczaczy powietrza zostały także przewidziane w metodach stosowanych w Chinach, Japonii i Korei Południowej. Chińska norma GB/T 18801-2022 wprowadza wskaźnik CCM (ang. cumulative clean mass), który informuje o masie zatrzymanych zanieczyszczeń powietrza, gdy wskaźnik CADR osiągnie 50% wartości początkowej.

Metoda SP dotyczy określenia frakcyjnej skuteczności usuwania zanieczyszczeń po jednokrotnym przejściu powietrza przez oczyszczacz powietrza. Obliczenia wykonuje się na podstawie różnicy stężeń zanieczyszczeń na wlocie i wylocie z oczyszczacza. Wskaźnik SP definiuje skuteczność filtrów zamontowanych w oczyszczaczu powietrza.

Podstawową zaletą wskaźnika CADR w porównaniu ze wskaźnikiem SPE jest to, że uwzględnia on zarówno skuteczność zastosowanych w oczyszczaczu filtrów, jak i strumień objętości powietrza, z jakim oczyszczacz pracuje. W tabeli zestawiono najpopularniejsze metody badań na świecie.

Ponadto w aspekcie metod badania skuteczności działania oczyszczaczy powietrza w pomieszczeniach należy przywołać również normę EN ISO 29464:2019 [14]. W Polsce obowiązuje norma PN-EN ISO 29464:2020 [15]. Ustanowiono w niej terminologię obowiązującą w dziedzinie filtracji powietrza. Ważnymi normami w tej dziedzinie są: PN-EN IEC 63086-1:2021-01 [16], PN-EN IEC 63086-1:2021-01/A1:2024-04 [17] i PN-EN IEC 63086-2-1:2024-10 [18], dotyczące wymagań ogólnych

dla metody badań cech funkcjonalnych elektrycznych urządzeń do oczyszczania powietrza przeznaczonych do użytku domowego i podobnego. Zastąpiły one normę IEC PAS 62587:2008 [19]. Norma IEC PAS 62587:2008 wykorzystywała metodę PD do określania wskaźnika CADR.

STANOWISKO DO BADANIA OCZYSZCZACZY POWIETRZA W CIOP-PIB

W związku z coraz większym zainteresowaniem oczyszczaczami powietrza oraz zapytaniami otrzymywanymi od różnych podmiotów o możliwość wykonania badania takich urządzeń w CIOP-PIB zbudowano stanowisko badawcze, wzorowane na jednej z dostępnych ustandaryzowanych metod: ANSI/AHAM AC-1-2020 [12] lub AHAM AC-3-2009 (R2021) [13].

Tab. Zestawienie metod badań oczyszczaczy powietrza

Nazwa dokumentu	Kraj	Metoda*	Wskaźnik**	Typ cząstek/gazu	Zakres wymiarów cząstek [µm]	Kubatura komory [m³]
ANSI/AHAM AC-1-2020	USA	PD	CADR	dym papierosowy, pył Arizona, pyłek morwy papierowej	od 0,1 do 1,0 od 0,5 do 3,0 od 5,0 do 11,0	28,5
GB/T 18801-2022	Chiny	PD	CADR	cząstki stałe, np. dym papierosowy, alergeny, wirusy	b.d.	3,0; 10,0; 30,0; 81,0***
				formaldehyd, toluen	–	
SPS-KACA002-132:2018	Korea Południowa	PD	CADR	KCL	b.d.	8,0; 30,0; 50,0; 180,0***
				amoniak, aldehyd octowy, toluen, formaldehyd	>0,3	
NRCC-54013:2011	Kanada	PD	CADR	NaCl, KCl	od 0,05 do 5,00	55
NF B44-200:2016	Francja	SP	SPE, CADR	DEHS, alergeny kota, staphylococcus epidermidis, aspergillus niger	od 0,3 do 5,0	b.d.
				mieszanina acetonu, aldehydu octowego, heptanu, toluenu	–	
JEM 1467-2015	Japonia	PD	CADR	dym papierosowy	>0,3	20,0–32,0
				amoniak, aldehyd octowy, kwas octowy i inne	–	
NT CONS 009:1985	kraje nordyckie	SP	CADR	DOP	0,3; 0,5; 1,0	–

* Metoda pull-down (PD) lub single pass (SP)

** Wskaźnik CADR lub wskaźnik SPE

*** W zależności od typu badanego oczyszczacza powietrza



Fot. Stanowisko do badania oczyszczaczy powietrza w CIOP-PIB

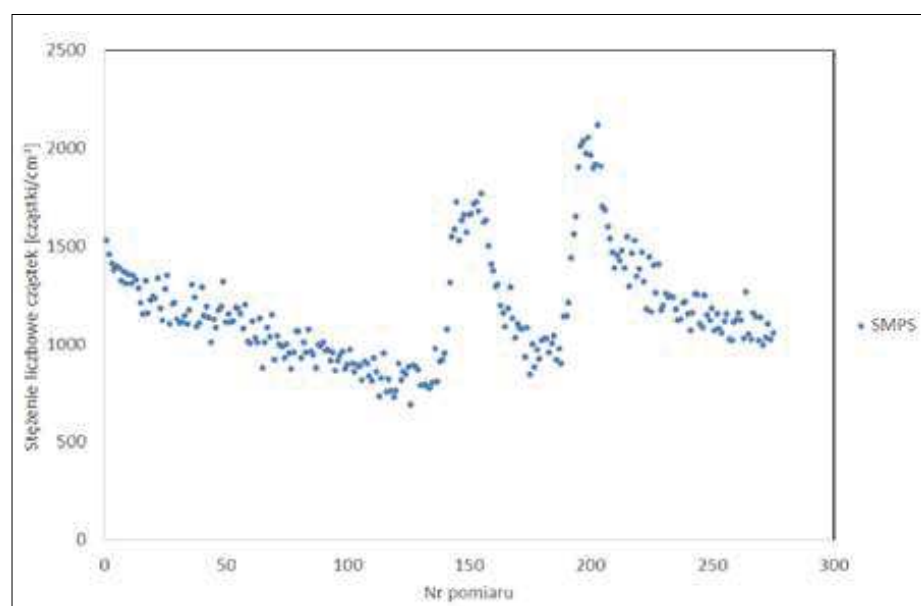
Stanowisko badawcze składa się z komory, modułów przepływu powietrza, filtracji powietrza, regulacji parametrów powietrza, generowania aerozoli testowych, pomiaru stężenia cząstek aerozoli oraz jednostki odbierania i archiwizacji danych pomiarowych.

W trakcie testów badano zmienność liczbowych stężeń cząstek powietrza wewnętrznego komory przy różnych wariantach działania oczyszczacza. Do pomiarów wykorzystano aerodynamiczny licznik cząstek APS Model 3321 (TSI Inc.) oraz system analizy wymiarowej cząstek SMPS Model 3938 (TSI Inc.) składający się z kondensacyjnego licznika cząstek CPC Model 3776 (TSI Inc.) i elektrostatycznego klasyfikatora DMA Model 3082 (TSI Inc.).

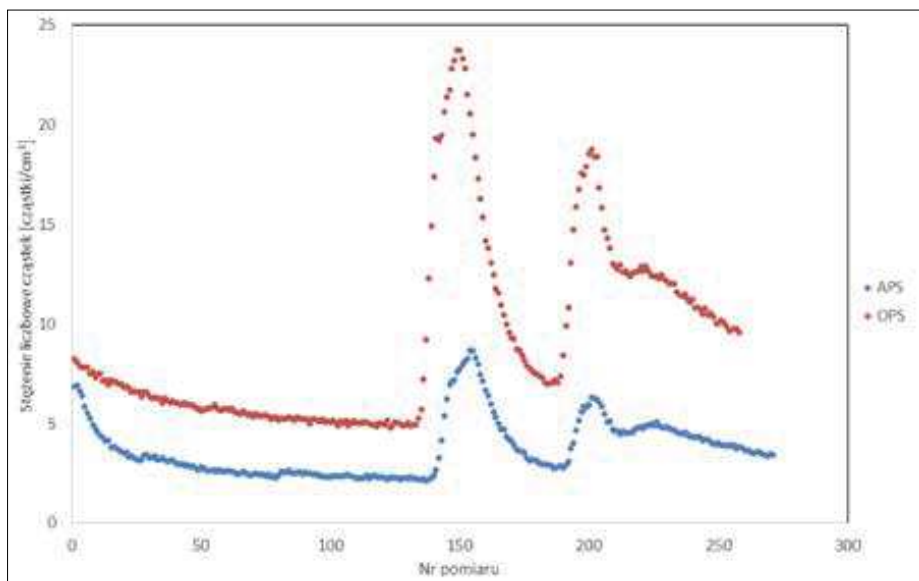
Testowany układ oczyszczania spełnił swoją funkcję, znacznie zwiększając dynamikę oczyszczania powietrza

z zawieszonych cząstek. Osiągane końcowe wartości stężenia liczbowego cząstek w komorze z działającym układem

oczyszczania były zdecydowanie niższe od tych uzyskiwanych bez działającego układu oczyszczania.



Rys. 1. Zmiany stężenia liczbowego cząstek o rozmiarach od 30 do 735 nm (SMPS)



Rys. 2. Zmiany stężenia liczbowego cząstek o rozmiarach od 0,3 do 10 μm (OPS) oraz od 0,3 do 20 μm (APS)

PODSUMOWANIE

Opracowana metoda oceny wskaźnika szybkości dostarczania czystego powietrza i stanowisko badawcze przenośnych oczyszczaczy powietrza w warunkach laboratoryjnych CIOP-PIB umożliwiając poprawę bezpieczeństwa użytkowników pomieszczeń w budynkach. Zapewniają także dostęp producentom tych urządzeń do nowoczesnych metod badawczych zgodnych z kryteriami norm międzynarodowych.

W opracowanej metodzie producent i użytkownik oczyszczaczy powietrza mogą dobrać odpowiednie parametry pracy, takie jak przepływ powietrza, wskaźnik CADR, jakość systemu filtracji, czujniki mierzące jakość powietrza. Wskaźnik CADR uwzględnia w sobie dwa ważne parametry oczyszczacza, czyli wydajność wentylatora oraz skuteczność oczyszczania (filtracji), co umożliwia dobór odpowiedniego urządzenia do potrzeb użytkownika. Metoda pozwala na zbadanie urządzeń do oczyszczania powietrza projektowanych lub już użytkowanych w warunkach rzeczywistych zarówno na rynku krajowym, jak i międzynarodowym.

Opracowano i wydano 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 nr 1.ZS.03 pt. „Ocena wskaźnika szybkości dostarczania czystego powietrza przez przenośne oczyszczacze powietrza w warunkach laboratoryjnych”. Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – PIB. ■

Literatura

1. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej (Dz.U.UE.L. z 2018 r. poz. 156.75).
2. I. Sikończyk, Ograniczanie ryzyka niezgodności deklarowanych parametrów central wentylacyjno-klimatyzacyjnych i nadmiernego zużycia energii, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” nr 54(2)/2023, s. 28–34.
3. Air Leakages in Air Handling Units: Guidelines for Improving Indoor Air Quality and Correcting Performance, „Eurovent” 6/15, European Industry Association, Bruksela 2021, <https://eurovent.eu/?q=content/eurovent-615-2021-air-leakages-air-handling-units-first-edition>.
4. Dyrektywa 89/391/EWG z 12 czerwca 1989 r. w sprawie wprowadzenia środków w celu zwiększania bezpieczeństwa i poprawy zdrowia pracowników podczas pracy.
5. 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).
6. World Health Organization, 2023, <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public> (dostęp: 26.11.2024).
7. Z. Niu, i in., Association between long-term exposure to ambient particulate matter and blood pressure, hypertension: an updated systematic review and metaanalysis, Int. J. Environ. Health Res., 33, 2022, s. 268–283, <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.2022106>.
8. S. Faridi, R.W. Allen, R.D. Brook, F. Yousefian, M.S. Hassanvand, C. Carlsten, An updated systematic review and meta-analysis on portable air cleaners and blood pressure: Recommendations for users and manufacturers, „Ecotoxicology and Environmental Safety”, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115227>.
9. Z. Sultan, J. Li, J. Pantelic, S. Schiavon, Indoor Air Pollution of Outdoor Origin: Mitigation Using Portable Air Cleaners in Singapore Office Building, Aerosol Air Qual. Res., 22, 220204, 2022, <https://doi.org/10.4209/aaqr.220204>.
10. P. Fermo i in., Improving indoor air quality through an air purifier able to reduce aerosol particulate matter (PM) and volatile organic compounds (VOCs): experimental results, „Environmental Research”, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111131>.
11. www.wirtualnemedia.pl/arttykul/rynek-oczyszczaczy-powietrza-w-polsce-wart-50-mln-zl (dostęp: 27.11.2024).
12. ANSI/AHAM AC-1-2020, Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners.
13. AHAM AC-3-2009 (R2021), Method for Measuring the Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners Following Accelerated Particulate Loading, 2009.
14. EN ISO 29464:2019 Cleaning of air and other gases – Terminology.
15. PN-EN ISO 29464:2020-03 Oczyszczanie powietrza i innych gazów – Terminologia.
16. PN-EN IEC 63086-1:2021-01 Elektryczne urządzenia do oczyszczania powietrza do użytku domowego i podobnego – Metody badań cech funkcjonalnych – Część 1: Wymagania ogólne.
17. PN-EN IEC 63086-1:2021-01/A1:2024-04 Elektryczne urządzenia do oczyszczania powietrza do użytku domowego i podobnego – Metody badań cech funkcjonalnych – Część 1: Wymagania ogólne.
18. PN-EN IEC 63086-2-1:2024-10 Elektryczne urządzenia do oczyszczania powietrza do użytku domowego i podobnego – Metody badań cech funkcjonalnych – Część 2-1: Wymagania szczegółowe dotyczące pomiaru redukcji cząstek stałych.
19. IEC PAS 62587:2008. Method for measuring performance of portable household electric room air cleaners.