

dr inż. Michał Piasecki¹⁾
mgr inż. Dominik Bekierski^{1)*}

Wpływ wybranych materiałów budowlanych na klasy czystości powietrza pomieszczeń

Influence of selected building materials on the classification of room air cleanliness

DOI: 10.15199/33.2017.08.12

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. Artykuł przedstawia propozycję metody określania wpływu materiałów budowlanych na klasę zanieczyszczenia powietrza pomieszczeń w budynku. Ponadto omówiono stan wiedzy oraz określanie klas czystości powietrza metodą komorową oraz za pomocą analizy bezpośredniej w obiekcie. Porównano dwie niezależne metody analityczne: mikroskopii optycznej i metodę z zastosowaniem dyskretnego licznika cząstek. Wyznaczono współczynnik korelacji liniowej wyników oraz równanie regresji w przypadku dwóch wielkości cząstek. Przedstawiono i omówiono wyniki pomiarów czystości powietrza wykonane w kilkunastu przedszkolach. **Słowa kluczowe:** materiały budowlane, jakość powietrza, klasy czystości powietrza, emisja cząstek.

Abstract. The article presents a method for determining the influence of selected construction materials on the air pollution of rooms in a building. The paper presents the state of the art and methods for defining room cleanliness classes by a chamber method and by direct analyses of the object. Two independent analytical methods were presented and compared: the optical microscopic method and the use of a discrete particle counter. The linear correlation coefficient of the methods' results and the regression equation for the two particle sizes were determined. Air quality measurements were performed in a dozen of kindergartens. **Keywords:** construction products, air quality, classification of air cleanliness, particles emission.

Zgodnie z trzecim wymaganiem podstawowym Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 [9] dotyczącym higieny, zdrowia i środowiska obiekty budowlane muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby nie stanowiły zagrożenia dla higieny i zdrowia użytkowników. Jakość środowiska wewnętrznego i wpływ na samopoczucie oraz komfort mieszkańców i użytkowników budynku to ważny i aktualny obszar badań.

W artykule zaprezentowano autorską metodę określania wpływu zastosowanych materiałów na klasę zanieczyszczenia powietrza pomieszczeń czystych w budynku. Porównano dwie niezależne metody analityczne: mikroskopową i z zastosowaniem dyskretnego licznika cząstek, a także określono współczynnik korelacji liniowej wyników oraz równanie regresji. Analizowano wpływ wybranych wyrobów na zanieczyszczenie powietrza. Wiedza zawarta w artykule może być użyteczna dla producentów materiałów budowlanych, projektantów, inwestorów, inżynierów, zarządców budynków, użytkowników i konserwatorów urządzeń instalacyjnych.

Pomieszczenia specjalnego przeznaczenia (np. sale operacyjne, serwerownie) można klasyfikować ze względu na ilość zanieczyszczeń cząstkami stałymi występujących w powietrzu wewnętrznym. Klasę powietrza określa się przez pomiar stężenia cząstek o określonej średnicy i większej w jednostce objętości powietrza. Do niedawna najczęściej stosowano w tej dziedzinie amerykańską normę Federal Standard 209 [4], natomiast podstawową normą europejską, dotyczącą oceny pomieszczeń czystych jest seria EN ISO 14644 [6]. Obecnie w literaturze nikt nie powiązał emisji pyłowych z wyrobów z klasami czystości powietrza.

W 2002 r. Polski Komitet Normalizacyjny wprowadził normy sankcjonujące standardy europejskie, m.in. PN-EN ISO 14644-1 [6]. Norma ta wprowadziła 9 klas czystości powietrza. Pomieszczenie czyste wg ISO to obszar o ustalonym sposobie kontroli zanieczyszczeń cząstkami pyłów i drobno-ustrojami w środowisku, w którym wytwarzane są produkty sterylne. Określa ona, jakie może być maksymalne stężenie cząstek poszczególnych rozmiarów w zakresie $0,1 \div 5 \mu\text{m}$. Ponadto w Polsce obowiązują klasy czystości wynikające z Rozporządzenia [10] oraz wymagań Dobrej Praktyki Wytwarzania [8], zgodnie z wytycznymi GMP/PIC-Guide. Rozporządzenie przewiduje pomiar liczby cząstek pyłów w środo-

wisku pracy. Przepisy stosuje się w gałęziach przemysłu takich, jak przemysł elektroniczny, farmaceutyczny, spożywczy, chemiczny. Brakuje natomiast krajowej klasyfikacji czystości pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi.

Metody badawcze emisji cząstek z wyrobów budowlanych

Do badania emisji cząstek stałych wyrobów budowlanych zastosowano metodę komorową, znaną z badania emisji lotnych związków organicznych. Założono, że wentylowana komora badawcza może odzwierciedlać pomieszczenie w budynku. Badanie przeprowadza się w komorze spełniającej wymagania [7]. Parametry modelowego pomieszczenia zostają przeniesione na parametry pracy komory laboratoryjnej, a wielkość próbki poddanej badaniu odnosi się do powierzchni stosowania wyrobu (ściany, podłoga, sufit).

W komorach badawczych prowadzono badania emisji pyłowej z wyrobu dwiema metodami. Badanie mikroskopowe wykonano zgodnie z procedurą laboratoryjną wg normy PN-EN ISO 14644 [6]. Do analizy pobrano powietrze o objętości ok. 1 m^3 z komory, w której umieszczono badane wyroby budowlane. Emitowane z nich za-

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Fizyki Ciepłej, Akustyki i Środowiska

^{*)} Adres do korespondencji: d.bekierski@itb.pl

nieczyszczenie pyłowe było gromadzone na filtrach Milipore i po obróbce chemicznej analizowane pod mikroskopem. Jednocześnie z poborem powietrza na filtry wykonywano pomiary z zastosowaniem laserowego miernika cząstek AeroTrak 9310, przeznaczonego do pomiaru stężenia cząstek w pomieszczeniach czystych, który określa liczbę cząstek w 1 m³ powietrza.

Analiza zanieczyszczenia pyłowego z filtrów celulozowych przeprowadzona została za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego i kontrastowo-fazowego w powiększeniu 600x. W przypadku każdego filtra zliczono ziarna o średnicy 1 i 5 μm – w stu polach obserwacji. Od liczby ziaren o każdej wymienionej średnicy w próbkach wyrobów budowlanych odjęto liczbę ziaren o odpowiedniej średnicy zarejestrowanych podczas analizy próbki zerowej. Uzyskano stężenie cząstek, zaobserwowane w powietrzu komory po wprowadzeniu do niej poszczególnych wyrobów budowlanych. Stężenie pyłów o różnej średnicy ziaren zawieszonych w 1 m³ powietrza obliczono wg wzoru:

$$X = [(A \cdot N) / (a \cdot n \cdot r \cdot t)] \cdot 1000 \quad (1)$$

gdzie:

X – stężenie cząstek pyłów w powietrzu [szt./m³];
A – powierzchnia filtra (415 mm²);
a – powierzchnia pojedynczego pola obserwacji (0,008 mm²);
n – liczba zaobserwowanych ziaren danej frakcji w stu polach obserwacji;
r – objętość przepływu powietrza przez filtr [l/min];
t – czas poboru próbki [min].

Wykonano dwa pomiary każdego badanego wyrobu i uśredniono wyniki (tabela 1). Do oceny uzyskanych wyników przyjęto klasy czystości powietrza zgodnie z tabelą 2. Wykorzystano też skalę czystości, którą stosuje się przy wytwarzaniu sterylnych produktów farmaceutycznych, gdzie wyróżnia się cztery klasy czystości powietrza (od A do D).

Tabela 1. Zmierzona emisja cząstek pyłów z badanych wyrobów budowlanych – porównanie wyników uzyskanych mikroskopem oraz z miernika cząstek

Table 1. Measured particle emissions from products – comparison of results obtained by microscope and from particle meter

Próbka		Stężenie cząstek pyłów z wyrobów w powietrzu [szt./m ³] i uzyskana klasa czystości powietrza wg ISO			
		≥ 1 μm	klasa ISO	≥ 5 μm	klasa ISO
„Zero”	mikroskop	295927	ISO 8	7517	ISO 8
	licznik cząstek	213038	ISO 8	833	ISO 8
Wętna mineralna	mikroskop – „zero”	135522	ISO 8	13700	ISO 8
	licznik cząstek – „zero”	1088495	ISO 9	1097	ISO 7
Płyta gipsowo-kartonowa	mikroskop – „zero”	116593	ISO 8	11731	ISO 8
	licznik cząstek – „zero”	586811	ISO 8	868	ISO 7
Piana PUR	mikroskop – „zero”	14866	ISO 7	7193	ISO 8
	licznik cząstek – „zero”	78818	ISO 7	549	ISO 7
Płyta magnetyzowa	mikroskop – „zero”	366431	ISO 8	11296	ISO 8
	licznik cząstek – „zero”	3025163	ISO 9	10499	ISO 8

Tabela 2. Wybrane klasy czystości pyłowej powietrza w pomieszczeniach i strefach czystych
Table 2. Selected classes of clean air in rooms and clean zones

Klasa wg rozporządzenia Ministra Zdrowia [10]	Numer klasy wg ISO	Maksymalne dopuszczalne stężenie cząstek pyłów w powietrzu [szt./m ³]					
		≥ 0,1 μm	≥ 0,2 μm	≥ 0,3 μm	≥ 0,5 μm	≥ 1 μm	≥ 5 μm
(nieujęte w rozporządzeniu)	ISO 1	10	2				
	ISO 2	100	24	10	4		
	ISO 3	1000	237	102	35	8	
	ISO 4	10000	2370	1020	352	83	
	ISO 5	100000	23700	10200	3520	832	29
A/B	ISO 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
C	ISO 7				352000	83200	2930
D	ISO 8				3520000	832000	29300
	ISO 9				35200000	8320000	293000

Badane wyroby budowlane i wyniki pomiarów

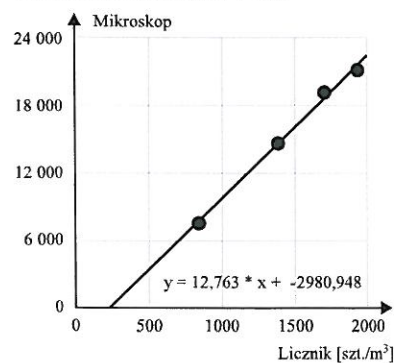
Z wieloletniej praktyki ITB oraz analizy literatury [2, 5, 8, 11] wynika, że wyroby budowlane mogą mieć duży wpływ na środowisko wewnętrzne. Do badania wytypowano: płyty gipsowo-kartonowe, materiały izolacyjne z wełny mineralnej, piankę PUR (poliuretanową) oraz płytę magnetyzowaną. Próbkę zostały przygotowane w taki sposób, by powierzchnia emitująca cząsteczki wynosiła 0,01 – 0,14 m² (nasylenie komory wyrobem 0,4 – 0,6 m²/m³). Ponadto dokonano pomiaru próby „zerowej”, aby wyeliminować wpływ tzw. tła.

Otrzymane wyniki podano w tabeli 1. Różnice w wielkości pomiarów mogą wynikać m.in. z faktu, że pod mikroskopem analizuje się ilość cząstek w danej frakcji (np. 1 μm), a dyskretny miernik cząstek zlicza cząstki równe i większe danej frakcji (np. ≥ 1 μm). Wyniki poszczególnych pomiarów zostały przyporządkowane do klasy czystości wg tabeli 2 z PN-EN ISO 14644 [6].

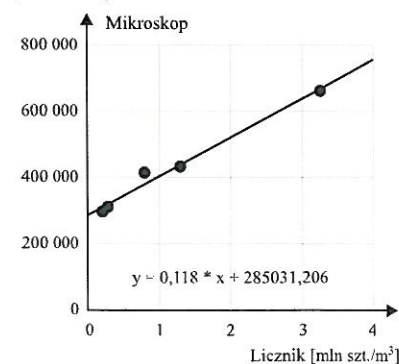
Porównując uzyskane wyniki (tabela 1) stwierdzono, że mniejsza różnica między

metodami pomiaru jest zauważalna w przypadku większych cząstek (PM5). W przypadku prób frakcji ≥ 1 μm większe stężenie notowano przy pomiarze z zastosowaniem metody z laserowym miernikiem cząstek.

Określono współczynnik korelacji wyników pomiarów wg obu metod. W przypadku frakcji ≥ 5 μm uzyskano wysoki współczynnik korelacji wynoszący 0,998, a w przypadku frakcji ≥ 1 μm wynoszący 0,992. Ponadto wyznaczono równania regresji liniowej (rysunki 1 i 2).



Rys. 1. Równanie regresji liniowej na podstawie pomiarów frakcji pyłów 5 μm
Fig. 1. Linear regression based on the particle fraction 5 μm



Rys. 2. Równanie regresji liniowej na podstawie pomiarów frakcji 1 μm
Fig. 2. Linear regression based on the particle fraction 1 μm

Wprowadzenie świeżego powietrza do danego pomieszczenia powinno spowodować utrzymanie odpowiedniej jakości oraz klasy czystości powietrza [3]. Żaden z elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych pomieszczenia nie może wpływać negatywnie na jakość powietrza. W placówkach opieki zdrowotnej ogromne znaczenie ma uniknięcie zakażeń szpitalnych [1, 2, 5]. W zależności od poziomu ryzyka, pomieszczenia czyste w szpitalach powinny mieć klasy czystości od ISO 3 do ISO 5 (tabela 3).

Kluczowe znaczenie ma uniknięcie skażenia w pomieszczeniach produkcyjnych oraz laboratoriach, osiągnięte przez połączenie warunków odpowiadających pomieszczeniom czystym z zapobieganiem zakażeniu drobnoustrojami (tabela 4). Wymagania mogą się znacznie różnić w zależności od określonej gałęzi przemysłu.

Przeprowadzone badania wybranych wyrobów budowlanych wykazały, że w wyniku emisji cząstek stałych pomieszczenia mają klasę czystości ISO 8 lub ISO 9, a w niektórych przypadkach ISO 7. Zastosowanie analizowanych materiałów nie byłoby więc wskazane w większości pomieszczeń specjalistycznych, niemniej są to wciąż poziomy czystości powietrza akceptowalne na stały pobyt ludzi.

Tabela 3. Pomieszczenia w placówkach opieki zdrowotnej a klasa czystości ISO
Table 3. Rooms in health care facilities and ISO clean room class

Rodzaj wnętrza	Ograniczenia	Klasa wg ISO
Sala operacyjna	sufit hermetyczny, gładkie powierzchnie, antybakteryjne	ISO 3
Pomieszczenia z rezonansem magnetycznym	niemagnetyczne i antybakteryjne	ISO 4
Sala pooperacyjna, porodowa, laboratorium	antybakteryjne, duża szczelność sufitu, akustyczne	ISO 5

Tabela 4. Pomieszczenia w przemyśle farmaceutycznym i medycznym a klasa czystości ISO
Table 4. Premises in the pharmaceutical and medical industry and the ISO class

Rodzaj wnętrza	Ograniczenia	Klasa wg ISO
Produkcja sprzętu monitorującego aktywność serca	antybakteryjne	ISO 4
Pralnia – pranie odzieży przeznaczonej do pomieszczeń czystych	antybakteryjne	ISO 5
Dezynfekcja sprzętu medycznego	antybakteryjne	ISO 7
Produkcja urządzeń medycznych, przechowywanie żywności	antybakteryjne	ISO 7

Badanie klas czystości powietrza w przedszkolach

W ramach współpracy z m.st. Warszawa podczas analiz inwentaryzacji występowania azbestu przeprowadzono badania stopnia zanieczyszczenia pyłem w przedszkolach (budynki typu Ciechanów C-15 i C-40). Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 5.

Tablica 5. Wyniki pomiarów stężenia respirabilnych włókien azbestu oraz stężenia zapylenia w wybranych przedszkolach

Table 5. Results of measurements of respirable asbestos fibers concentration and particle concentration in selected kindergartens

Placówka	Rodzaj pomieszczenia	Stężenie cząstek pyłów [szt./m ³]			Stężenie włókien azbestu [wl/m ³]	Klasa wg ISO
		≥ 0,5 μm	≥ 1 μm	≥ 5 μm		
Przedszkole 1	szatnia	11577695	3635699	286088	0	ISO 8
Przedszkole 2	szatnia	10606005	2939854	104530	10	ISO 8
Przedszkole 5	szatnia	7328629	1972119	158594	300	ISO 8
Przedszkole 6	szatnia	9271699	3615484	274785	10	ISO 8
Przedszkole 7	sala do rytmiki	12884880	2309075	149390	0	ISO 8
Przedszkole 8	szatnia	11161100	3074673	242734	830	ISO 8
Przedszkole 9	szatnia	9668517	2698925	146319		ISO 8
Przedszkole 11	szatnia	10050354	1478828	69183	10	ISO 8
Przedszkole 12	sala dzieci	10593730	5452967	555302		ISO 9
Przedszkole 12	kuchnia	16240535	3134600	123166	400	ISO 8

Do oceny stężenia pyłów w powietrzu przedszkoli użyto miernika cząstek AeroTrak 9310. Badanie przeprowadzono w częściach wspólnych, tj. szatni oraz w jednym przypadku w kuchni, a także w sali dla dzieci. Wyniki odniesiono do klas czystości wg PN-EN ISO 14644-1:2016-03 [6]. Analiza wyników wykazała, że badane pomieszczenia mają klasę czystości ISO 8. Przyczyną wyższego stężenia pyłów w jednym przypadku może być większa ilość miękkich materiałów w sali dla dzieci (np. dywany) oraz mniej wydajna lub ograniczona wentylacja pomieszczenia.

W artykule przedstawiono uproszczoną metodę badania klas czystości powietrza w pomieszczeniach za pomocą komory badawczej. Określono wpływ wybranych wyrobów budowlanych na klasę czystości pomieszczeń. W większości analizowanych przypadków jest to klasa czystości ISO 8. Porównano dwie metody pomiarów zanieczyszczenia pyłowego powietrza i wykazano wysoki współczynnik ich korelacji. Stwierdzono, że wybrane wyroby nie powinny być stosowane w sterylnych pomieszczeniach specjalistycznych.

Za pomocą metody z zastosowaniem dyskretnego miernika cząstek określono klasę czystości powietrza w badanych bu-

dynkach przedszkoli, która wynosiła ISO 8. Uzyskane wyniki wskazują na: zamienną możliwość stosowania metod badawczych do ogólnego określenia klas czystości powietrza; wpływ emisji z wyrobów budowlanych na kształtowanie się klas czystości powietrza w pomieszczeniach oraz zadowalający stopień czystości powietrza w badanych przedszkolach.

Literatura

- [1] Atlachowicz Janusz. 2007. „Wokół rozporządzenia „sanitarnego”. *Ogólnopolski Przegląd Medyczny* 3: 22 – 3.
- [2] Charkowska Anna. 2005. „Czystość mikrobiologiczna i pyłowa środowiska szpitalnego, część 1.”. *Chłodnictwo & Klimatyzacja* (12): 12 – 5.
- [3] Czarniecki Lech i inni. 2012. „Budownictwo zrównoważone budownictwem przyszłości”. *Inżynieria i Budownictwo* 68 (1): 18 – 21.
- [4] FED-STD-209 E Airborne Particulate Cleanliness Classes in Cleanrooms and Cleanzones.
- [5] Kalliokoski Pentti. 2009. „Risks caused by airborne particles – source control is important”. *Indoor Built Environment* 12: 41 – 6.
- [6] PN-EN ISO 14644-1. Pomieszczenia czyste i związane z nimi środowiska kontrolowane – Część 1: Klasyfikacja i czystość powietrza.
- [7] PN-EN ISO 16000-9 Powietrze wewnątrz – Część 9: Oznaczanie emisji lotnych związków organicznych z wyrobów budowlanych i wyposażenia – Badanie emisji metodą komorową.
- [8] Praca zbiorowa. 1999. *Poradnik GMP. Dobra praktyka wytwarzania środków farmaceutycznych i materiałów medycznych*. Polfarmed.
- [9] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011.
- [10] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 2 października 2006 r. w sprawie wymagań Dobrej Praktyki Wytwarzania (Dz.U. 06.194.1436).
- [11] Sanjay Ramade, R. S. Power. „Desig and Development of Cost Effective Clean Rooms For Pharmaceutical Units”. *Journal of Mechanical and Civil Engineering* (IOSR-JMCE), ISSN: 2278-1684: 07-13.

Przyjęto do druku: 09.06.2017 r.