

Izabela SÓWKA¹, Anna ZWOŹDZIAK¹, Maria SKRĘTOWICZ¹, Anna WOROBIEC²
Alicja NYCH¹, Rene VAN GRIEKEN² i Jerzy ZWOŹDZIAK¹

STĘŻENIE ORAZ SKŁAD ELEMENTARNY CZĄSTEK PYŁU ZAWIESZONEGO W POWIETRZU WEWNĘTRZNYM WYBRANEJ SZKOŁY I W ATMOSFERZE WROCŁAWIA

INDOOR AND OUTDOOR AIR PARTICULATE MATTER CONCENTRATIONS AND CHEMICAL COMPOSITION IN NATURALLY VENTILATED SCHOOL ENVIRONMENT AND WROCLAWS' ATMOSPHERE

Abstrakt: Pomiarzy stężeń pyłu PM1.0, PM2.5, PM10 zostały przeprowadzone w okresie zimowym 2009 i 2010 roku w szkole średniej oraz na obszarach miejskich we Wrocławiu. Pobrane w powietrzu wewnętrznym oraz zewnętrznym próbki aerozolu analizowano pod względem poziomu stężenia oraz składu pierwiastkowego. W powietrzu wewnętrznym stężenia PM1.0, PM2.5 i PM10 wyniosły kolejno: 13÷36, 18÷143 oraz 21÷190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pomiarzy wykazały, że w powietrzu zewnętrznym stężenia pyłu zawieszonego były mniejsze i mieściły się w granicach: 15÷41 (PM1.0), 24÷79 (PM2.5) oraz 26÷95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10). Jakość powietrza we Wrocławiu oceniono zgodnie w wytycznymi Jakości Powietrza Światowej Organizacji Zdrowia (WHO AQG). Na podstawie przeprowadzonych obliczeń odnotowano 90% dni ze średnią dobową powyżej wartości stężeń określonych w ww. wytycznych: w przypadku frakcji PM2.5 - 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zmierzone we Wrocławiu stężenia PM2.5 w zakresie 24÷79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mogą zatem wskazywać na wzrost ryzyka zachorowalności związanej z zanieczyszczeniem powietrza pyłem zawieszonym.

Słowa kluczowe: PM1.0, PM2.5, PM10, powietrze wewnętrzne, powietrze zewnętrzne, skład elementarny cząstek pyłu w powietrzu

Większa część społeczeństw Europy zamieszkuje tereny, w których zanieczyszczenia powietrza osiągają stężenia wpływające na zwiększoną zachorowalność ludzi, co potwierdziły liczne badania epidemiologiczne przeprowadzone wcześniej. I chociaż obecnie wiele uwagi poświęca się temu zagadnieniu, to jednak wciąż brakuje jasnego powiązania ekspozycji człowieka na zanieczyszczenie i odpowiadającej jej reakcji organizmu, mierzonej tzw. efektami medycznymi.

Osoby zamieszkujące tereny centrum miasta są silniej wyeksponowane na zanieczyszczenia pyłowe w porównaniu z mieszkańcami okolic podmiejskich, przy czym aż 20% badanych jest narażonych na znaczne stężenia pyłów o średnicach mniejszych od 2,5 μm (PM2.5). Ostateczny wpływ na zdrowie populacji zależy od rodzaju zanieczyszczeń, poziomu ekspozycji i wrażliwości osobniczej. Szczególnie wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza są dzieci. Najczęstszymi przykładami wpływu, które można zaobserwować ze strony układu oddechowego, są szeroko rozumiane jego dolegliwości, od stanów ostrych do przewlekłych, wymagających w leczeniu znacznych nakładów. Na podstawie badań przeprowadzonych w ramach projektu WHO obliczono, że zanieczyszczenie powietrza jest przyczyną 6% przypadków śmiertelnych rocznie [1, 2].

¹ Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, tel. 71 320 25 00, fax 71 320 35 99, email: izabela.sowka@pwr.wroc.pl

² Department of Chemistry, University of Antwerp, Universiteitsplein 1, 2610, Antwerp, Belgium

Ponieważ połowa z nich jest związana z zanieczyszczeniami pochodzącymi z transportu, one powinny zatem stać się głównym celem polityki zdrowotnej.

Celem opisanych tutaj badań była zarówno ocena stężeń pyłu zawieszonego w powietrzu zewnętrznym i wewnętrznym, jak i jego składu pierwiastkowego. Na podstawie wyników starano się oszacować potencjalne ryzyko, jakie stanowi dane stężenie ze względu na zagrożenie występowania chorób płuc u dzieci lub spotęgowania objawów chorób już istniejących.

Metodyka pobierania pyłu zawieszonego

Próbki pyłu zawieszonego były pobrane w Gimnazjum Nr 13 we Wrocławiu w czasie dwóch okresów pomiarowych: grudzień 2009 i styczeń 2010. Pomiary przeprowadzono wewnątrz (główny korytarz na I piętrze) i na zewnątrz budynku (dach szkoły). Do pobrania próbek pyłu zawieszonego zostały wykorzystane impaktory kaskadowe typu Harvard (MS&T Area Samplers, Air Diagnostics and Engineering, Inc., Harrison, ME, USA).

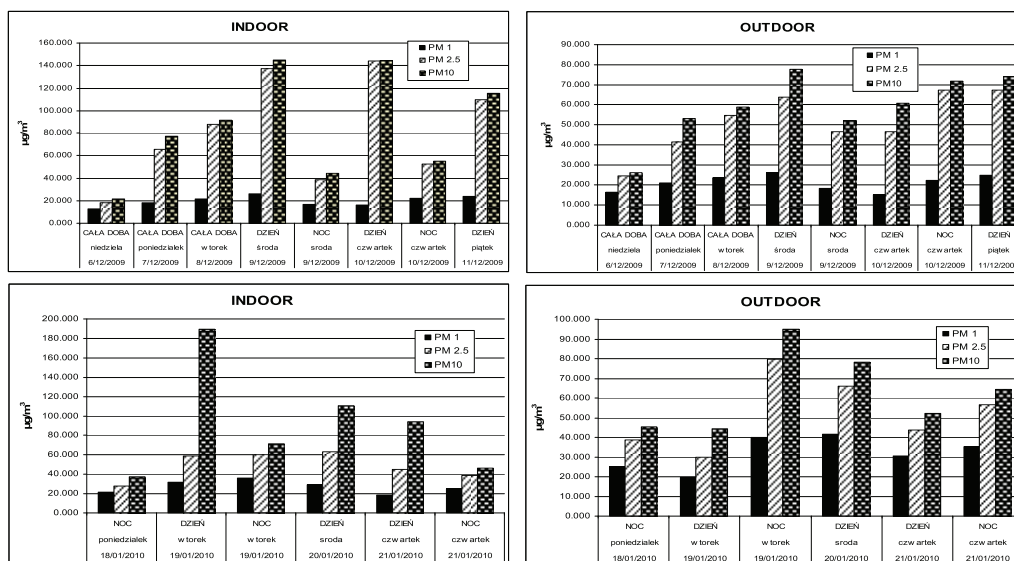
Impaktory typu Harvard umożliwiły pobranie pyłu zawieszonego w wymaganym zakresie średnicy cząstek: PM1.0 (stałe cząstki zawieszone o średnicy mniejszej od 1 μm), PM2.5 (stałe cząstki zawieszone o średnicy mniejszej od 2,5 μm) i PM10 (stałe cząstki zawieszone o średnicy mniejszej od 10 μm). Przepływ powietrza wymuszały ultraciche bezolejowe pompy próżniowe (Air Diagnostics and Engineering, air sampling pump, model SP-280E) [3]. Jako podłoża zastosowano membrany teflonowe (Anderson Teflon Membrane Filters, 37 mm średnica filtru, 2 μm średnica porów). Przed i po pobraniu pyłu filtry były ważone zgodnie z procedurą [4, 5] w celu określenia masy zebranego pyłu w poszczególnych frakcjach. Natężenie przepływu przy pobraniu cząstek < 1,0 μm wynosiło 23 $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, natomiast w przypadku cząstek < od 2,5 μm i 10 μm zastosowano przepływ 10 $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Objętość pompowanego powietrza była kontrolowana przepływomierzem typu Ataris. Czas pobrania wynosił 24 h. Opisany sposób pobierania próbek zapewnia jednorodną warstwę zebranego na filtrach pyłu, niezbędną do dalszej analizy elementarnej.

Analiza elementarna

Po określeniu masy pyłu i jego stężenia w badanym powietrzu w poszczególnych frakcjach filtry zostały poddane analizie za pomocą *fluorescencyjnej spektroskopii rentgenowskiej* (XRF). Do analizy wykorzystano wysokoenergetyczny fluorescencyjny spektrometr rentgenowski Epsilon 5 (PANalytical, Almelo, Holandia), wyposażony w detektor dyspersji energii promieniowania (*energy dispersive X-ray fluorescence* - EDXRF). W systemie Epsilon generowana jest spolaryzowana wiązka promieniowania rentgenowskiego przy użyciu wbudowanej anody gadolinowej o mocy 600 W z regulacją napięcia z zakresie od 25 do 100 kV i natężenia w zakresie od 0,5 do 24 mA. System jest wyposażony w 13 tarcz - anod wtórnych (Al, CaF₂, Ti, Fe, Co, Ge, KBr, Zr, Mo, Ag, CsI, CeO₂ i W). Szczegóły dotyczące warunków pomiaru dla każdego pierwiastka, jak również dane dotyczące optymalizacji procedury pomiaru są opisane w pracy [6].

Wyniki, ich omówienie oraz analiza

Na rysunku 1 porównano poziomy stężenie pyłu zawieszonego we frakcjach PM1.0, 2.5 i 10 na zewnątrz (outdoor) i wewnątrz (indoor) budynku szkolnego w dwóch okresach pomiarowych (grudzień 2009 i styczeń 2010).



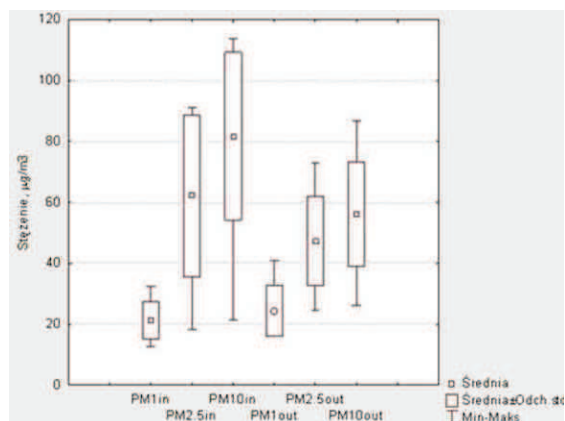
Rys. 1. Porównanie poziomów stężeń pyłu zawieszonego we frakcjach PM 1.0, 2.5 i 10 na zewnątrz (outdoor) i wewnątrz (indoor) budynku szkolnego w dwóch okresach pomiarowych (grudzień 2009 i styczeń 2010)

Fig. 1. Comparison of air particulate matter concentration levels in fractions 1.0, 2.5 and 10 inside (indoor) and outside (outdoor) of the school during two measurement periods (December 2009 and January 2010)

Zgodnie z [7], we wszystkich frakcjach stwierdzono duże stężenia pyłu zawieszonego, przekraczające poziomy dopuszczalne lub zalecane ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w powietrzu zewnętrznym dla frakcji PM10). Zmierzone w powietrzu wewnętrznym stężenia PM1.0, PM2.5 i PM10 wyniosły kolejno: $13 \div 36$, $18 \div 143$ oraz $21 \div 190 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pomiary wykazały, że w powietrzu zewnętrznym stężenia pyłu zawieszonego były mniejsze i mieściły się w zakresie: $15 \div 41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM1.0), $24 \div 79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM2.5) oraz $26 \div 95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10).

Jakość powietrza we Wrocławiu oceniono zgodnie w wytycznymi Jakości Powietrza Światowej Organizacji Zdrowia (WHO AQG) [1, 2]. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń odnotowano 90% dni ze średnią dobową powyżej wartości stężeń określonych w ww. wytycznych: w przypadku frakcji PM2.5 - $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Zaobserwowano również, że w ciągu dnia stężenia te podlegają znacznym wahaniom, zwłaszcza wewnątrz szkoły w przypadku PM10 i PM2.5. Stężenia PM1.0 utrzymywały się na porównywalnym poziomie wewnątrz budynku, natomiast jego większą zmienność zaobserwowano w powietrzu zewnętrznym.

Na rysunku 2 zestawiono średnie odchylenia standardowe oraz zakres mierzonych stężeń pyłu zawieszonego w PM 1.0, 2.5 i 10 w powietrzu wewnętrznym i zewnętrznym.



Rys. 2. Średnie odchylenia standardowe oraz zakres mierzonych stężeń pyłu zawieszonego w PM1.0, 2.5 i 10 w powietrzu wewnętrznym (in) i zewnętrznym (out)

Fig. 2. Mean standard deviations and range of the PM1.0, 2.5 and 10 concentrations measured indoor (in) and outdoor (out) air

Stwierdzono słabe korelacje między stężeniami pyłu w powietrzu wewnętrznym i zewnętrznym. Dotyczyło to wszystkich frakcji z wyjątkiem frakcji PM1.0 w grudniowym okresie pomiarowym, gdzie zanotowano zależność między stężeniami na zewnątrz i wewnątrz szkoły ($PM1.0_{in} = 0,94 PM1.0_{out}$, $R^2 = 0,87$). Wskazuje to na fakt, że najdrobniejsze frakcje mogą łatwiej penetrować do wewnątrz budynku niż pyły grube. Zarejestrowano natomiast silną współzależność stężeń między poszczególnymi frakcjami pyłów w powietrzu zewnętrznym w obu sesjach pomiarowych, a w przypadku powietrza wewnętrznego między stężeniami PM10 i PM2.5.

Wobec dużej zmienności stężenia PM10 wewnątrz szkoły i słabej korelacji ze stężeniami PM1.0 udział PM1.0 w PM10 podlega również znacznym wahaniom i zmienia się w granicach od 11 do 59%. Największy udział PM1.0 przypada na godziny nocne. W powietrzu zewnętrznym udział ten stanowi od 31 do 62%. Udział PM2.5 w pyłe PM10 zarówno w powietrzu wewnątrz szkoły, jak i na zewnątrz podlegał mniejszej zmienności i wynosił średnio 78% wewnątrz i 85% zewnątrz.

Stosunek stężeń w powietrzu wewnętrznym (I) do stężeń w powietrzu zewnętrznym (O), tj. I/O, pozwala dodatkowo ocenić, czy istnieją różne źródła powstawania i emisji pyłów. W wielu przypadkach ten stosunek jest powyżej jedności, co świadczy o istnieniu dodatkowych źródeł emisji pyłów wewnątrz szkoły. Dotyczy to frakcji pyłów: PM10 i PM2.5. Wyjaśnieniem może być m.in. brak wentylacji, a widoczne to było zwłaszcza podczas sesji styczniowej, gdy notowano niskie temperatury powietrza na zewnątrz. Potwierdzeniem jest najbardziej drobna frakcja, która w największym stopniu poddaje się procesowi wentylacji, a wówczas w powietrzu wewnątrz pojawiła się w niższych stężeniach niż na zewnątrz, odwrotnie niż w grudniu.

Na jakość powietrza wewnątrz oddziałuje zanieczyszczenie powietrza z zewnątrz oraz wpływają inne procesy, będące źródłem emisji pyłów zawieszonych w pomieszczeniach szkolnych, takie jak: sprzątanie (zamiatanie, odkurzanie), oraz ruch dzieci, które powodują

zwiększoną turbulencję, skutecznie osłabiającą proces osiadania pyłów. W tej sytuacji mamy do czynienia z pyleniem wtórnym i unoszeniem się pyłów grubszych. Potwierdzeniem tego zjawiska są większe stężenia pyłów PM10 i PM2.5 w ciągu dnia niż rejestrowane nocą i w niedzielę.

W tabeli 1 przedstawiono średnie stężenia zidentyfikowanych pierwiastków we frakcji PM1.0. Na szczególną uwagę zasługuje występowanie w znacznych stężeniach metali ciężkich, takich jak: Cr, Ni, Mn, Pb, Zn, As i Cu, które mogą stanowić potencjalne zagrożenie dla zdrowia [8].

Tabela 1

Średnie stężenia pierwiastków [ng/m³] we frakcji PM1.0
(średnia z wszystkich próbek z obu okresów pomiarowych)

Table 1

Mean concentrations of elements [ng/m³] in fraction PM1.0
(mean of all samples from both measurement periods)

Pierwiastek	Średnia	Minimum	Maksimum
Si	114.5	17.60	602.4
K	415.4	193.9	1338
Ca	33.69	10.02	70.45
Ti	4.937	0.4222	56.95
Fe	142.4	12.53	1882
Cr	1.690	< DL	4.068
Ni	1.029	0.2991	1.629
Mn	27.84	4.170	319.5
Cu	23.41	4.237	40.32
Zn	169.6	50.18	385.5
As	2.795	< DL	7.389
Pb	52.42	25.31	98.97
S	957.3	407.1	1997
Cl	266.8	43.51	1079
Cd	0.7822	< DL	4.654

Wnioski

W powietrzu wewnątrz szkoły rejestrowano wyższe stężenia średnie dobowe pyłów PM2.5 i PM10 niż na zewnątrz szkoły. Wartości stężeń we frakcji PM10 wielokrotnie, w tak krótkim okresie pomiarowym, przekraczały poziom dopuszczalny dla powietrza atmosferycznego, wynoszący 50 µg/m³ [7]. Z kolei często pojawiający się pył PM2.5 w stężeniach powyżej 25 µg/m³, zgodnie w wytycznymi Jakości Powietrza Światowej Organizacji Zdrowia (WHO AQG), może wskazywać na wzrost ryzyka zachorowalności dzieci związanego z zanieczyszczeniem powietrza pyłem zawieszonym. Notowano również duże stężenia pyłu PM1.0, dochodzące do 36 µg/m³ w powietrzu wewnątrz szkoły i 41 µg/m³ na zewnątrz. Dotychczasowe ustawodawstwo unijne nie obejmuje przepisami jakości powietrza wewnętrznego. Wyższe stężenia pyłów wewnątrz budynku niż na zewnątrz wskazują na konieczność kontroli i ustalenia norm jakości powietrza w pomieszczeniach, w których przebywają ludzie, a zwłaszcza dzieci. Wysokie stężenia PM1.0 i 2.5, często przekraczające obecnie obowiązujące normy dopuszczalne dla PM10, podkreślają konieczność podjęcia prac w kierunku nowelizacji istniejących norm, dotyczących drobniejszych frakcji pyłów. Stanowią one bowiem dużo większe zagrożenie

dla układu oddechowego i ogólnego stanu zdrowia ludzi (m.in. dotyczy to metali ciężkich przyswajanych przez układ oddechowy) niż frakcje grube.

Literatura

- [1] WHO (World Health Organization) Europe. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Geneva 2006.
- [2] WHO (World Health Organization) Europe. Health risk of PM from long range transboundary air pollution, Copenhagen 2006.
- [3] Stranger M.: Characterization of health related particulate and gas-phase compounds in multiple indoor and outdoor sites in Flanders. 2005 PhD thesis. University of Antwerp, Belgium.
- [4] PN-EN 14907:2006, Jakość powietrza atmosferycznego - Standardowa grawimetryczna metoda oznaczania frakcji masowej PM_{2,5} pyłu zawieszonego.
- [5] PN-EN 123441:2006, Jakość powietrza. Oznaczanie frakcji PM₁₀ pyłu zawieszonego. Metoda odniesienia i procedura testu terenowego w celu wykazania równoważności stosowanej metody pomiarowej z metodą odniesienia.
- [6] Spolnik Z., Belikov K., Van Meel K., Adriaenssens E., De Roeck F. i Van Grieken R.: *Optimization of measurement conditions of an energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer with high-energy polarized beam excitation for analysis of aerosol filters*. Appl. Spectrosc., 2005, **59**, 1465-1469.
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 17 grudnia 2008 w sprawie dokonywanych ocen pomiarów substancji w powietrzu.
- [8] Chapman R.S., Watkinson W.P., Dreher K.L. i Costa D.L.: *Ambient particulate matter and respiratory and cardiovascular illness in adults: particle-borne transition metals and the heart-lung axis*. Environ. Toxicol. Pharmacol., 1997, **4**(3), 331-338.

INDOOR AND OUTDOOR AIR PARTICULATE MATTER CONCENTRATIONS AND CHEMICAL COMPOSITION IN NATURALLY VENTILATED SCHOOL ENVIRONMENT AND WROCLAWS' ATMOSPHERE

¹ Institute of Environmental Protection Engineering, Faculty of Environmental Engineering, Wrocław University of Technology

² Department of Chemistry, University of Antwerp

Abstract: The measurements of PM_{1.0}, PM_{2.5}, PM₁₀ have been conducted during the winter season of 2009 and 2010 in the secondary school and over urban area in Wrocław, Poland. Both, indoor and outdoor aerosol samples were analysed for their weight and elemental composition. Indoor PM_{1.0}, PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations ranged 13÷36, 18÷143 and 21÷190 µg/m³, respectively. The results showed that outdoor particulate matter concentrations were lower than indoor one and ranged 15÷41 (PM_{1.0}), 24÷79 (PM_{2.5}), and 26÷95 µg/m³ (PM₁₀). Air quality in Wrocław has been categorized according to World Health Organization Air Quality Guideline (WHO AQG). There were reported 90% of days with daily mean exceeding the WHO AQG for PM_{2.5} - 25 µg/m³. Within the measured concentration range 24÷79 µg/m³ a significant daily increase in morbidity risk has been deduced.

Keywords: PM_{1.0}, PM_{2.5}, PM₁₀ indoor-outdoor particles, elemental composition