

Anna MAINKA, Elwira ZAJUSZ-ZUBEK, Barbara KOZIELSKA, Ewa BRĄGOSZEWSKA

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Katedra Ochrony Powietrza  
ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice  
e-mail: Anna.Mainka@polsl.pl

## Badanie zanieczyszczeń powietrza oddziałujących na dzieci w przedszkolu miejskim zlokalizowanym przy drodze o dużym natężeniu ruchu

Prezentowane wyniki pomiarów stężeń lotnych związków organicznych (LZO), pyłu całkowitego (TSP), frakcji PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>1</sub> oraz bioaerozoli. Wykonywano również pomiary stężenia CO<sub>2</sub> jako wskaźnika skuteczności systemu wentylacji. Pomiary przeprowadzono w okresie grzewczym w dwóch salach opiekuńczych (dzieci w wieku 3-6 lat) oraz na zewnątrz budynku przedszkola położonego w centrum Gliwic (Górny Śląsk) przy drodze o dużym natężeniu ruchu. Wyniki badań wskazują na gorsze warunki co do jakości powietrza wewnątrz. Dla sumy 16 LZO stosunki stężeń wewnątrz i na zewnątrz budynku (I/O) w zależności od sali wahały się od 2 do 5, dla pyłu PM<sub>10</sub> sięgały 4, a dla PM<sub>2,5</sub> wynosiły około 2. W przypadku bioaerozoli grzybowych średni wskaźnik I/O sięgał 2, natomiast dla aerozoli bakteryjnych przekraczał 8. Jednocześnie ciągłe pomiary stężeń CO<sub>2</sub> wykazały dominujący udział niskiej jakości powietrza podczas przebywania dzieci w obu salach przedszkola. Wyniki wskazują na niewystarczającą skuteczność systemu wentylacji, co może negatywnie wpływać na zdrowie i samopoczucie dzieci.

**Słowa kluczowe:** powietrze wewnętrzne, lotne związki organiczne, pył zawieszony, bioaerozole, dwutlenek węgla

### Wstęp

Wraz ze zmianą stylu życia wzrasta ilość czasu, który ludzie spędzają wewnątrz pomieszczeń. W krajach rozwiniętych człowiek spędza 80÷90% swojego życia w pomieszczeniach zamkniętych [1-3]; okres ten wydłuża się w stosunku do osób chorych, starszych oraz dzieci. Środowisko, w którym przebywają, ma wpływ na ich zdrowie i samopoczucie [3]. Parametrem określającym jakość powietrza wewnątrz budynków jest poziom substancji zanieczyszczających. Szczególną uwagę należy zwrócić na LZO (ang. *Volatile Organic Compounds, VOCs*) i pył zawieszony (ang. *Particulate Matter, PM*) z zaadsorbowanymi na nim niebezpiecznymi związkami chemicznymi oraz biologicznymi (bakterie i grzyby) [4].

Zainteresowanie tymi związkami wynika, po pierwsze, z szerokiej gamy źródeł wymienionych zanieczyszczeń wewnątrz pomieszczeń, po drugie, z ich negatywnego wpływu na zdrowie użytkowników tych pomieszczeń. Pomimo iż większość zanieczyszczeń powietrza występuje wewnątrz pomieszczeń w stężeniach, które nie są uważane za szkodliwe, to na skutek długotrwałej ekspozycji mogą one nega-

tywnie oddziaływać na zdrowie ludzi. Szczególną grupę stanowią dzieci, ponieważ w odniesieniu do swojej masy ciała wdychają więcej powietrza niż dorośli [5]. Co więcej, uważa się, że dzieci są bardziej narażone na zanieczyszczenia niż dorośli, ponieważ organizmy w fazie wzrostu są bardziej podatne na uszkodzenia niż organizmy już rozwinięte [6, 7]. Wiele badań przeprowadzonych w pomieszczeniach mieszkalnych, szkołach i budynkach użyteczności publicznej wskazuje na związki pomiędzy poziomami zanieczyszczeń wewnątrz pomieszczeń a negatywnym wpływem na zdrowie ich użytkowników [8-15]. Jednakże tylko nieliczne publikacje obejmują badania jakości powietrza w przedszkolach [16-18]. Badacze wskazują na trudności z uzyskaniem dostępu do budynków przedszkolnych oraz problemy z takim umiejscowieniem poborników i czujników, aby ciekawość dzieci nie zakłóciła pomiarów. Stąd istnieje potrzeba prowadzenia badań nad jakością powietrza wewnątrz budynków przedszkoli w jak najszerszym zakresie.

Lotne związki organiczne to szeroka grupa związków charakteryzująca się temperaturą wrzenia od 50 do 260°C i prężnością par nie mniejszą niż 0,01 Pa [19]. Pierwotne źródła emisji LZO wewnątrz budynków obejmują: meble, pokrycia ścian i podłóg (tapety, dywany itp.). Użytkownicy budynków podczas wykonywania codziennych czynności mogą również stanowić istotne źródło tych związków chemicznych. Ich emisja może skutkować narażeniem użytkowników na 50 do 300 różnych LZO, rezultatem czego często są nieprzyjemne zapachy (odory), które prowadzą do złego samopoczucia użytkowników tych pomieszczeń [4].

Całkowite stężenia LZO w nowych budynkach biurowych w momencie rozpoczęcia ich użytkowania mogą być 50 do 100 razy wyższe niż stężenia na zewnątrz tych budynków. Po 4-5 miesiącach stosunek stężeń zmierzonych poziomów substancji wewnątrz do zmierzonych na zewnątrz I/O (ang. *Indoor/Outdoor*) spada poniżej 5:1. W starszych budynkach stosunek I/O może różnić się od 1:1 przy zastosowaniu wentylacji mechanicznej do 10:1 w okresach zimowych i letnich. LZO zazwyczaj są emitowane w sposób bezpośredni. Jednakże istnieją materiały, które chłoną LZO i z czasem stają się wtórnymi źródłami tych zanieczyszczeń. Do materiałów chłonnych zaliczyć można dywany, zasłony itp. [20]. W przypadku przedszkoli należy uwzględnić również zabawki oraz pościel dzieci do leżakowania.

Negatywny wpływ pyłu zawieszonego na zdrowie ludzi zależy od zdolności dróg oddechowych do ich usuwania, co jest ściśle związane z rozmiarami cząstek pyłu. Dodatkowo, duża powierzchnia mniejszych cząstek pyłu (ang. *fine, ultrafine*) pozwala na przenoszenie większych ilości zanieczyszczeń powietrza (np. wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych WWA, ang. *PAHs*, i związków metali ciężkich) do niższych obszarów układu oddechowego. Efektem tego mogą być problemy oddechowe oraz symptomy astmatyczne [4].

Pył zawieszony emitowany wewnątrz może być również klasyfikowany ze względu na źródła emisji, w tym [21]:

- gotowanie, ogrzewanie, produkty codziennego użytku, materiały budowlane i kurz,
- powtórne unoszenie pyłu na skutek codziennych czynności użytkowników, takich jak odkurzanie czy chodzenie,

- infiltracja pyłu z powietrza zewnętrznego,
- tworzenie wtórnych aerozoli, szczególnie organicznych.

Badania przeprowadzone przez Bernstein i innych w 421 domach we Włoszech potwierdziły związek pomiędzy podwyższonymi stężeniami PM<sub>2,5</sub> a występowaniem objawów chorobowych, takich jak zapalenie oskrzeli i objawów astmy, szczególnie w okresie zimowym. Badacze wskazują również, że dzieci mieszkające w odległości do 100 m od dróg o dużym natężeniu ruchu częściej mają negatywne objawy ze strony układu oddechowego niż dzieci mieszkające w większej odległości [4].

Badania epidemiologiczne potwierdzają również związek pomiędzy stężeniem pyłu PM<sub>2,5</sub> a wzrostem zachorowań i hospitalizacji związanych z chorobami układów krwionośnego oraz oddechowego [22-27].

Mikroorganizmy stanowią jeden z podstawowych składników środowiska powietrznego, a ich liczba w powietrzu jest ważnym wskaźnikiem zanieczyszczenia atmosfery, zarówno w przestrzeni otwartej, jak i w pomieszczeniach zamkniętych. Jednakże powietrze jest środowiskiem niesprzyjającym życiu drobnoustrojów, gdyż nie mogą się one w nim dzielić ani też rosnąć. Jest ono jedynie miejscem ich okresowego przebywania i ośrodkiem umożliwiającym przemieszczanie się. Głównymi rezerwuarami mikroorganizmów występujących w powietrzu są woda, gleba, powierzchnia roślin i odpadów, a także ludzie oraz zwierzęta [28].

Stąd też przy definiowaniu zanieczyszczeń biologicznych mówi się o bioaerozolu, który jest układem dwufazowym, składającym się z zawieszonych w powietrzu cząstek biologicznych. Cząstkami tymi mogą być m.in.: pierwotniaki, wirusy, komórki bakteryjne, fragmenty grzybni czy też zarodniki grzybów. W normalnych warunkach środowiskowych, czyli przy niskich stężeniach bioaerozoli, większość cząstek biologicznych nie stanowi zagrożenia zdrowotnego. Trzeba jednak zwrócić uwagę na to, że część z nich może wykazywać właściwości chorobotwórcze, alergizujące lub toksyczne. Przy czym działania alergizujące i toksyczne mogą być efektem inhalacji zarówno żywych, jak i martwych komórek aerozolu biologicznego. Infekcje zaś powodowane są wyłącznie przez żywe mikroorganizmy. Szczególne zagrożenie stanowią bakterie Gram-ujemne, które zawierają endotoksynę (składnik ściany komórkowej). Toksyczność tego związku manifestuje się gorączką, zmiennością liczebności leukocytów, pojawieniem się trudności w oddychaniu, a nawet śmiercią organizmu. Z reguły jednak obecność tej grupy bakterii nie stanowi specjalnego ryzyka zdrowotnego, ponieważ zwykle występują one w niskich stężeniach. Podobnie jak bakterie, niektóre mikrogrzyby występujące w powietrzu mogą być przyczyną chorób zakaźnych (*Histoplasma*, *Blastomyces*). Większość grzybów mikroskopijnych może przyczynić się do wielu schorzeń, takich jak: SBS (syndrom chorego budynku, ang. *Sick Building Syndrome*), dermatozy skórne, alergie, schorzenia układu oddechowego czy mykotoksykozy [29, 30].

Wśród związków charakterystycznych dla powietrza wewnętrznego należy wymienić również dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>). Jest to najczęściej spotykany gaz w pomieszczeniach zamkniętych i chociaż nie jest uważany za trujące zanieczyszczenie

powietrza, to w pomieszczeniach zamkniętych, wypierając tlen, zdecydowanie pogarsza jakość powietrza wewnętrznego [20]. Wysokie stężenia CO<sub>2</sub> mogą być przyczyną takich objawów, jak: przemęczenie, senność, bóle głowy czy problemy z koncentracją [20]. Wielkość stężenia CO<sub>2</sub> jest również powszechnie używana jako wskaźnik skuteczności systemu wentylacji [31]. W Polsce do oceny jakości powietrza w pomieszczeniach niemieszkalnych stosuje się wskaźnik  $\Delta\text{CO}_2$ , który oznacza przyrost stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniu ponad poziom stężenia dwutlenku węgla w powietrzu zewnętrznym. Według normy PN-EN 13779:2008 [32], wyróżnia się cztery kategorie powietrza wewnętrznego:

- WEW 1 - wysoka jakość powietrza wewnętrznego:  $\Delta\text{CO}_2 < 400$  ppm,
- WEW 2 - średnia jakość powietrza wewnętrznego:  $\Delta\text{CO}_2$  od 400 do 600 ppm,
- WEW 3 - umiarkowana jakość powietrza wewnętrznego:  $\Delta\text{CO}_2$  od 600 do 1000 ppm,
- WEW 4 - niska jakość powietrza wewnętrznego:  $\Delta\text{CO}_2 > 1000$  ppm.

Według skali Pettenkofera, którą dopuszcza Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), za złą jakość powietrza przyjmuje się stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu pomieszczeń powyżej 1000 ppm. Badaczy i opinię społeczną szczególnie interesuje jakość powietrza pomieszczeń publicznych, w których przebywają dzieci.

Badania przeprowadzone w szkołach wskazują, że stężenia sięgające 5000 ppm są typowe dla niewietrzonych klas szkolnych. Potwierdzono również, że wysoki poziom stężeń CO<sub>2</sub> w powietrzu sal lekcyjnych ma negatywny wpływ na efektywność uczenia i zdrowie dzieci. Na podstawie badań [31] stwierdzono, że wzrost stężenia CO<sub>2</sub> powoduje spadek koncentracji uczniów o 5%, podobnie do efektu, jaki występuje w przypadku niezjedzenia przez ucznia śniadania. Shendell i inni [33] wskazują na związek pomiędzy krótkoterminowym, podwyższonym stężeniem CO<sub>2</sub> (> 1000 ppm) w salach lekcyjnych a idącym za tym wzrostem absencji uczniów od 10 do 20%. Autorzy badań [34] podkreślają, że duża liczba uczniów przebywających w salach o małej kubaturze i idący w ślad za tym wzrost poziomu stężeń CO<sub>2</sub> powinny prowadzić do korekty wytycznych, które uwzględniają te wskaźniki oraz progowe dawki środowiskowe przy projektowaniu kubatury sal lekcyjnych.

Celem pracy było zbadanie w przedszkolach różnic w narażeniu dzieci młodszych i starszych, przebywających w przedszkolu miejskim, na zanieczyszczenia powietrza wynikających z innego harmonogramu dnia (poobiednie leżakowanie dzieci młodszych), a także z różnej aktywności fizycznej (większa ruchliwość dzieci starszych). Postanowiono sprawdzić, czy materiały chłonne, uważane za wtórne źródła emisji lotnych związków organicznych (LZO), w istotny sposób wpływają na poziom tych zanieczyszczeń w salach przedszkolnych. Jest to o tyle istotny problem, że wyposażenie pomieszczeń przeznaczonych na pobyt dzieci jest wykonane z materiałów, które mają ww. właściwości (szczególnie sale dzieci młodszych). Dodatkowo sprawdzono, jaką tendencję wykazują takie zanieczyszczenia, jak: dwutlenek węgla, pył zawieszony czy też aerozol bakteryjny.

## 1. Metodyka badań

Pomiary zostały przeprowadzone w okresie od 7 do 17 stycznia 2014 r. w przedszkolu położonym w zachodniej części Aglomeracji Górnośląskiej (50°16'44.66"N, 18°39'22.93"E), które znajduje się w centrum Gliwic. Ściana frontowa budynku znajduje się 50 m od ul. Pszczyńskiej, stanowiącej przedłużenie DK44. Jest to droga o dużym natężeniu ruchu, przez którą w okresie 1 godziny przejeżdża średnio 2400-2800 samochodów [36]. Pomiędzy budynkiem a ulicą znajduje się utwardzony parking, co ułatwia napływ zanieczyszczeń ze środków transportu. Budynek przedszkola jest jednopiętrowy, podpiwniczony z wentylacją naturalną, w którym przebywa 150 dzieci w wieku 3-6 lat oraz 22 osoby personelu. Do badań wybrano sale dzieci w wieku 5-6 lat (*starszaki* - oznaczono I) i dzieci w wieku 3-4 lat (*maluchy* - oznaczono II) o kubaturze 210 m<sup>3</sup> każda, gdzie sala I znajduje się na pierwszym piętrze nad salą II. W każdej grupie było 25 dzieci oraz 1-2 osób z personelu przedszkola. Przedszkole jest czynne w godzinach 6:30 do 16:30. Najwięcej dzieci przebywa w godzinach od 8:00 do 13:00 (obowiązkowe 5 godzin edukacji przedszkolnej). W harmonogramie dnia dzieci młodsze dodatkowo leżakują. W badanym przedszkolu dzieci leżakują na karimatach pod kocami, stanowiącymi własność przedszkola. Próbkę LZO, PM10 i PM2,5 oraz bioaerozoli pobrano w dwóch salach opiekuńczych oraz na zewnątrz budynku przedszkola (oznaczono ZEW). Jednocześnie prowadzono ciągłe pomiary stężeń CO<sub>2</sub>, temperatury i wilgotności powietrza.

Do poboru próbek: lotnych związków organicznych, pyłu całkowitego, PM10, PM2,5 i PM1 oraz bioaerozoli zastosowano metody aktywne. Próbkę pobierano na wysokości około 1 m, czyli w strefie oddychania dzieci.

Metodyka poboru próbek LZO zastosowana w pomiarach oparta jest na metodzie US EPA TO-17 [35]. Wykorzystuje ona pobieranie próbek powietrza na rurki sorpcyjne metodą aspiracyjną, desorpcję termiczną analitów i ich oznaczanie techniką chromatografii gazowej. Do poboru wykorzystano oryginalne rurki sorpcyjne wypełnione Tenaxem GR. Przed poborem każda z rurek sorpcyjnych była kondycjonowana w atmosferze helu przez 30 minut w temperaturze 200°C, przy natężeniu przepływu gazu 20 cm<sup>3</sup>/min. Próbkę pobierano w 2 salach opiekuńczo-dydaktycznych oraz na zewnątrz budynku w okresie grzewczym za pomocą aspiratorów firmy SKC. Natężenie przepływu strumienia powietrza wynosiło około 6 dm<sup>3</sup>/h. Po poborze każda rurka zabezpieczana była dołączonym kompletem nakrętek wraz z uszczelkami oraz składowana do momentu oznaczenia w szczelnym naczyniu w lodówce. Pobrane próbki były analizowane przy wykorzystaniu chromatografii gazowej z użyciem desorbera termicznego. Do oznaczeń wykorzystano chromatograf gazowy firmy Perkin Elmer z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym (FID), model Clarus 500, połączony z termodesorberem Perkin Elmer model Turbo Matrix 100. Rejestracja i wyniki analizy prezentowane były przy użyciu komputera stacjonarnego z oprogramowaniem TotalChrom. Do rozdziału związków zastosowano kwarcową, kapilarną kolumnę chromatograficzną firmy Restek o symbolu RTX-5 i długości 30 m, średnicy wewnętrznej 0,32 mm oraz grubości filmu 3 µm. Warunki pracy desorbera i chromatografu gazowego opisano w pracy [36].

Oznaczono następujące związki należące do grupy LZO: benzen, toluen, etylobenzen, mieszaninę m,p-ksylenu, o-ksylen, styren, izopropylbenzen, n-propylbenzen, 1,3,5-trimetylobenzen, mieszaninę tert- i 1,2,4-trimetylobutylbenzenu, sec-butylobenzen, 4-izopropylotoluen, n-butylobenzen oraz naftalen. Analiza jakościowa przeprowadzona została na podstawie porównania czasów retencji badanych próbek z czasami retencji odpowiednich wzorców. Analizę ilościową przeprowadzono w oparciu o krzywe kalibracyjne. Liniową korelację wartości powierzchni pików od stężenia sprawdzono dla zakresu stężeń  $0,02 \div 0,06 \mu\text{g}$ . Współczynnik korelacji wynosił 0,99. Znając czas poboru próbki, natężenie przepływu powietrza przez rurki sorpcyjne, temperaturę i ciśnienie, stężenie badanych związków po przeliczeniach podano w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dla temperatury 298 K i ciśnienia normalnego.

Próbki pyłu zawieszonego PM10 oraz frakcje PM2,5 i PM1 pobrano w dwóch cyklach 5-dniowych (poniedziałek - piątek). Wewnątrz przy użyciu impaktora kaskadowego Dekati w salach dzieci młodszych i starszych z prędkością przepływu  $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$  pobrano następujące frakcje pyłu: TSP, PM10, PM2,5 i PM1. Do poboru próbek stosowano filtry poliwęglanowe (Nuclepore Track-Etch Membrane Whatman o średnicy 25 mm) i teflonowe (PALL Corporation Life Sciences TEflo o średnicy 47 mm). Na zewnątrz równolegle mierzono stężenie pyłu PM10 oraz frakcji respirabilnej PM2,5 za pomocą poborników pyłu marki Atmoservice typ PNS-15 z prędkością przepływu  $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ , zgodnie z normą PN-EN 12341. Stosowano filtry kwarcowe (QM-A Whatman o średnicy 47 mm). Masę pyłu zebranego za pomocą aspiratora oraz na poszczególnych stopniach impaktora wyznaczono metodą grawimetryczną i odniesiono do objętości przepuszczonego powietrza ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Do pomiaru stężeń aerozolu bakteryjnego i grzybowego zastosowano sześciostopniowy impaktor Andersena. Impaktor ten składa się z sześciu połączonych szeregowo impaktorów (ze średnicami odcięcia: 7,0; 4,7; 3,3; 2,1; 1,1; 0,65  $\mu\text{m}$ ), posiadających coraz to mniejsze otwory wlotowe. W skład impaktora wchodzi także pompa, która zapewnia stałe natężenie przepływu w trakcie pomiarów, wynoszące  $28,3 \text{ dm}^3/\text{min}$ . Pomiar za pomocą impaktora Andersena trwał 10 minut. Mikroorganizmy pobierane były na powierzchnię pożywki agarowej rozlanej na szalkach Petriego. Podłożem odpowiednim dla wzrostu bakterii był agar odżywczy TSA, do którego dodawano cycloheksamid hamujący wzrost grzybów. Z kolei podłożem odpowiednim do wzrostu mikrogrzybów był agar odżywczy MEA, do którego dodawano chloramphenicol.

Wynik końcowy pomiaru otrzymano, dzieląc ilość kolonii na każdej płycie Petriego przez objętość pobranego powietrza. Założenie, że każda kolonia rozwija się z pojedynczej komórki lub agregatów komórek zdolnych do wzrostu na odpowiedniej pożywce agarowej w postaci oddzielnych kolonii, korygowano, mnożąc liczbę kolonii przez współczynnik korekcyjny zgodnie z instrukcją obsługi impaktora Andersena. Stężenie bioaerozolu wyrażano w  $\text{CFU}/\text{m}^3$  (ang. *Colony Forming Units*,  $\text{CFU}/\text{m}^3$ ). Następnie przeprowadzona została identyfikacja wyizolowanych szczepów bakterii. Identyfikacja przebiegała w dwóch etapach. Pierwszy obejmował mikroskopową analizę morfologiczną kolonii i komórek

bakterii barwionych metodą Grama. W drugim etapie przeprowadzono badanie szczepów bakterii różnicowanych na podstawie ich własności metabolicznych za pomocą testów biochemicznych API, wspomaganych komputerowym systemem analizy API web (bioMerieux, Marcy-l'Etoile, Francja).

Równoległe w obu salach oraz na zewnątrz budynku przedszkola monitorowano stężenia CO<sub>2</sub> wraz z parametrami fizycznymi, tj. temperaturą i wilgotnością powietrza. Częstotliwość pomiarów wynosiła 60 s. Czujniki CO<sub>2</sub> model 77535 (producent AzInstruments) posiadają sensor absorpcji promieniowania podczerwonego i umożliwiają pomiar stężenia CO<sub>2</sub> w zakresie od 0 do 10 000 ppm (dokładność ±5%), pomiar temperatury w zakresie od -10 do +60°C (dokładność ±0,6°C) oraz pomiar wilgotności sensorem Rotronic w zakresie od 0 do 99% (dokładność ±3%).

## 2. Wyniki i ich omówienie

W tabeli 1 zestawiono wyniki pomiarów 16 wybranych związków, zaliczanych do grupy LZO, mierzonych w salach opiekuńczo-dydaktycznych, jak też na zewnątrz budynku. Sumaryczne stężenia są zróżnicowane i zawierają się w przedziale od 9,07 do 17,72 µg/m<sup>3</sup>, podczas gdy na zewnątrz budynku nie przekraczają wartości 4,15 µg/m<sup>3</sup>. Nie są to wartości wysokie.

Spośród oznaczonych związków najbardziej szkodliwy jest benzen, zaliczany do kancerogenów [37] - jego stężenie w salach dydaktycznych wahało się w granicach 1,49÷3,68 µg/m<sup>3</sup>. W badanych pomieszczeniach nie stwierdzono przekroczeń dopuszczalnego stężenia benzenu, które dla pomieszczeń kategorii **A**: *przeznaczonych na stały pobyt dzieci i młodzieży w budynkach oświaty* wynosi 10 µg/m<sup>3</sup> [38]. Dla pozostałych normowanych LZO (toluen - 200 µg/m<sup>3</sup>; styren - 20 µg/m<sup>3</sup>; etylobenzen - 100 µg/m<sup>3</sup>; ksyleny - 100 µg/m<sup>3</sup>; naftalen - 100 µg/m<sup>3</sup> [38]) również nie odnotowano przekroczeń. Stanowią one wraz z benzenem około 47,6÷57,6% wszystkich oznaczanych LZO wewnątrz budynku, a na zewnątrz ok. 86%. Niepokój może budzić fakt, iż stężenia LZO wewnątrz budynku są 10-20-krotnie wyższe niż na zewnątrz budynku. Demirel i inni prowadzili również pomiary w przedszkolach (Eskişehir, Turcja) i dla benzenu otrzymali średnią wartość 1,6 µg/m<sup>3</sup>, zaś odpowiednio dla pozostałych węglowodorów; toluenu, etylobenzenu, m,p-ksylenu i o-ksylenu - 26,2 µg/m<sup>3</sup>; 0,7 µg/m<sup>3</sup>; 1,1 µg/m<sup>3</sup> i 0,81 µg/m<sup>3</sup> [39]. Na zewnątrz budynku uzyskali wartości dla benzenu 1,23 µg/m<sup>3</sup> i toluenu 6,11 µg/m<sup>3</sup> [39].

Wartości stężeń frakcji pyłu pobranych w salach opiekuńczych na trzech stopniach impaktora o średnicach odcięcia 10 µm, 2,5 µm i 1 µm oraz stężeń pyłu PM10 i PM2,5 pobranych na zewnątrz budynku przedstawiono w tabeli 2.

Średnie stężenia pyłu PM10 i PM2,5 wewnątrz budynku przedszkola, wynoszące odpowiednio 114,87 i 77,56 µg/m<sup>3</sup>, są generalnie wyższe niż na zewnątrz. Najwyższy stosunek stężeń I/O stwierdzono dla pyłu PM10, wynosił on 3,6 (tab. 3). Potwierdzają to zarówno badania przeprowadzone w przedszkolach [17, 18], jak i w szkołach [31, 40]. Stężenia badanych frakcji PM są około 2-krotnie wyższe w sali I aniżeli w sali II. Branco i inni [17] jako przyczynę wskazują większą

ruchliwość starszych dzieci w porównaniu do młodszych, powodującą intensywne wznoszenie pyłu. Wyniki badań wskazują, że stosunek PM1/PM2,5 w sali I wyniósł średnio 0,74, zaś w sali II 0,69. Na podobnym poziomie kształtował się również stosunek PM2,5/PM10 w sali I wyniósł 0,71, a w sali II 0,61. Zdecydowanie wyższą wartość bliską 1 odnotowano dla współczynnika PM10/TSP w sali I i podobnie tylko nieco niższą (0,83) w sali II, co wskazuje na dominujący udział frakcji PM10 w stosunku do udziałów masowych mniejszych cząstek pyłu.

Tabela 1. Stężenie wybranych LZO oznaczonych w dwóch salach opiekuńczo-dydaktycznych (I - starsze dzieci, II- młodsze dzieci) i na zewnątrz budynku (ZEW) oraz iloraz I/O w przedszkolu miejskim (T = 298 K; p = 1013 hPa)

Table 1. Concentration of selected VOCs determined in classrooms (I - older children, II - younger children) and outside (ZEW) the urban nursery school building as well as the I/O (indoor/outdoor) ratio (T = 298 K; p = 1013 hPa)

Lp.	Nazwa związku	µg/m <sup>3</sup>			I/O		µg/m <sup>3</sup>			I/O	
		I	II	ZEW	I	II	I	II	ZEW	I	II
1	benzen	1,49	1,63	1,21	1,24	1,35	3,68	2,59	1,49	2,46	1,73
2	toluen	0,75	1,06	0,63	1,19	1,69	1,45	1,36	0,56	2,60	2,43
3	etylobenzen	0,44	0,55	0,29	1,55	1,93	0,63	0,40	0,15	4,19	2,62
4	m,p-ksylen	0,62	0,61	0,47	1,32	1,30	0,70	0,51	0,20	3,46	2,53
5	o-ksylen	0,40	0,51	0,55	0,73	0,93	0,73	0,60	0,18	4,19	3,45
6	styren	0,44	0,65	0,21	2,11	3,16	0,70	0,49	0,11	6,25	4,31
7	izopropylobenzen	0,04	0,12	0,02	2,89	7,76	0,07	0,15	0,02	4,06	9,31
8	n-propylobenzen	1,00	0,98	0,06	18,04	17,65	1,05	0,65	0,04	25,48	15,82
9	1,3,5-trimetylobenzen	0,88	0,90	0,30	2,96	3,02	0,91	0,74	0,17	5,47	4,44
10	tert.- 1,2,4-trimetylo-butyllobenzen	0,16	0,17	0,02	7,16	7,86	0,23	0,30	0,06	4,11	5,35
11	sec-butyllobenzen	2,30	2,38	0,08	28,46	29,44	3,26	2,42	0,03	130,01	96,68
12	4-izopropylotoluen	0,16	0,24	0,02	10,16	15,37	2,33	0,29	0,13	18,38	2,26
13	n-butyllobenzen	0,21	0,60	0,07	2,85	8,15	0,38	0,60	0,06	5,92	9,36
14	naftalen	0,19	1,22	0,24	0,77	5,00	1,58	1,08	0,36	4,42	3,02
Suma		<b>9,07</b>	<b>11,63</b>	<b>4,15</b>	<b>2,19</b>	<b>2,80</b>	<b>17,72</b>	<b>12,19</b>	<b>3,55</b>	<b>4,99</b>	<b>3,43</b>

Tabela 2. Stężenie pyłu wewnątrz i na zewnątrz budynku przedszkola

Table 2. Concentration of PM collected inside and outside nursery school building

I - sala dzieci starszych (13.01. - 17.01.2014)				II - sala dzieci młodszych (7.01. - 10.01.2014)			
PM10	PM2,5	PM1	TSP	PM10	PM2,5	PM1	TSP
Stężenie danej frakcji pyłu wewnątrz, µg/m <sup>3</sup>							
149,81	106,06	78,89	163,81	79,92	49,06	33,70	96,78
Stężenia danej frakcji pyłu na zewnątrz budynku przedszkola, µg/m <sup>3</sup>							
PM10		PM2,5		PM10		PM2,5	
70,26		64,72		22,20		21,88	



W badaniach przeprowadzonych w Portugalii [17] obserwowano większy udział pyłu poniżej 1  $\mu\text{m}$  w pyłe PM<sub>2,5</sub>, różnice wynikają z okresów pobierania próbek, gdyż nasze badania przeprowadzono w okresie grzewczym, który wiąże się z dużą emisją PM<sub>10</sub> z procesów spalania węgla.

Tabela 3. Stosunek (I/O) stężeń pyłu PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> pobranych wewnątrz sal oraz na zewnątrz budynku przedszkola

Table 3. I/O ratio of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> collected inside and outside nursery school building

I/O <sub>PM10</sub>	I/O <sub>PM2,5</sub>
I - sala dzieci starszych (13.01. - 17.01.2014)	
2,13	1,64
II - sala dzieci młodszych (7.01. - 10.01. 2014)	
3,60	2,24

Wyniki średnich stężeń aerozolu bakteryjnego i grzybowego odnotowanych podczas pomiarów w środowisku zewnętrznym i w pomieszczeniach przedszkola (sale I i II) przedstawiono w tabeli 4.

Zaobserwowano bardzo wyraźną różnicę pomiędzy wielkością stężenia aerozolu bakteryjnego w powietrzu wewnętrznym i zewnętrznym. Stężenia bakterii wewnątrz badanych pomieszczeń przedszkolnych były znacznie wyższe niż te odnotowane w środowisku zewnętrznym. Stosunek średnich geometrycznych wartości stężeń bakterii w powietrzu wewnętrznym do stężeń w powietrzu zewnętrznym (I/O) wynosił średnio aż 8,5. Uzyskany wynik wskazuje na niezwykle dużą rolę emitorów wewnętrznych. Potwierdzają to także wyniki przeprowadzonej identyfikacji gatunkowej, z której wynika, że zarówno w sali I (dzieci starsze), jak i w sali II (dzieci młodsze) dominowały Gram-dodatnie ziarniaki (*Micrococcus*, *Staphylococcus*), czyli bakterie migrujące do środowiska z powierzchni ludzkiej skóry, z gruczołów skórnych i z układu oddechowego. Z kolei w środowisku zewnętrznym dominantem były pałeczki Gram-dodatnie, których głównym środowiskiem bytowania jest środowisko naturalne (gleba, woda).

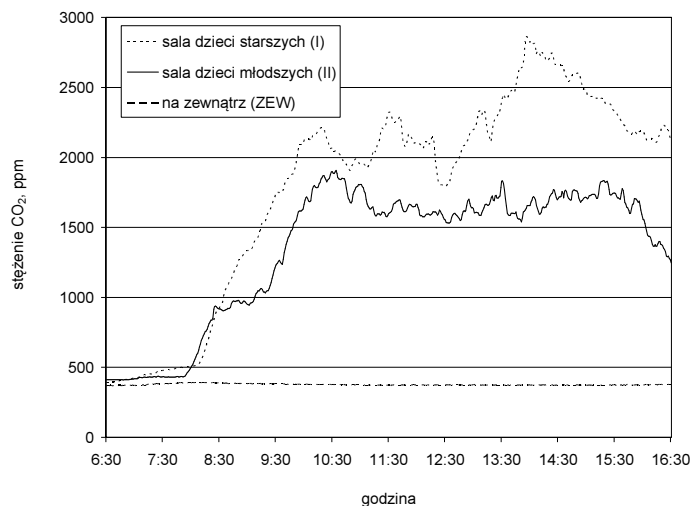
Tabela 4. Średnie stężenia aerozolu bakteryjnego i grzybowego występującego wewnątrz i na zewnątrz budynku przedszkola

Table 4. Average concentration of bacteria and fungi aerosols collected inside and outside nursery school building

Miejsce pobrania próbek	Stężenie mikroorganizmów CFU/m <sup>3</sup>	
	Bakterie	Grzyby
Na zewnątrz budynku	354	119
I - sala dzieci starszych	3098	148
II - sala dzieci młodszych	2915	289

W przypadku aerozolu grzybowego poziom stężeń zarówno w powietrzu atmosferycznym, jak i w środowisku wewnętrznym wynosił od 10 do  $10^2$  CFU/m<sup>3</sup>. Stosunek zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza wewnętrznego do zewnętrznego (I/O) dla mikrogrzybów wynosił 1,24 (sala I) oraz 2,4 (sala II).

Parametrem mierzonym w sposób ciągły było stężenie CO<sub>2</sub>. Na rysunku 1 przedstawiono zmiany stężeń CO<sub>2</sub> zmierzonych w salach I i II oraz na zewnątrz budynku dla wybranego dnia tygodnia (środa 15.01.2014 r.) w godzinach otwarcia przedszkola.

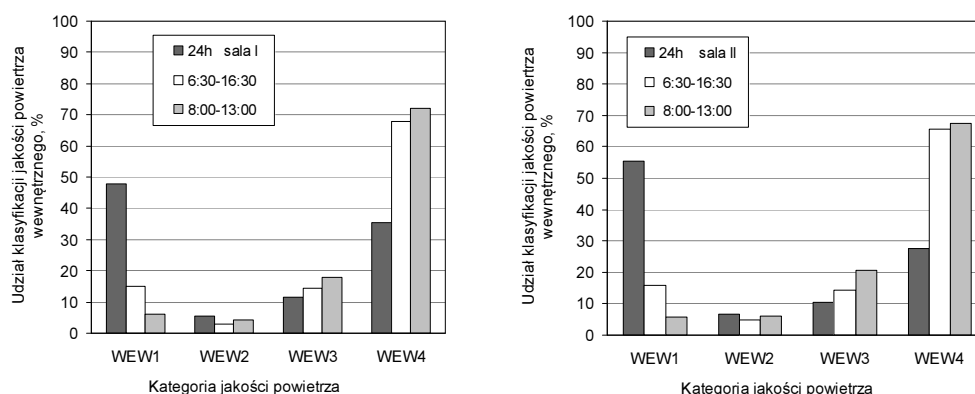


**Rys. 1.** Przebieg zmian stężeń CO<sub>2</sub> zmierzonych równolegle w salach (I, II) i na zewnątrz (ZEW) budynku przedszkola (15.01.2014)

**Fig. 1.** CO<sub>2</sub> concentration monitored in classrooms (I, II) and outside (ZEW) the nursery building (15.01.2014)

Dokonując klasyfikacji jakości powietrza zgodnie z PN-EN 13779:2008 [24], oparto się o kategorie WEW dla trzech przedziałów czasowych: całodobowego, godzin otwarcia przedszkola oraz 5-godzinnego czasu przebywania dzieci w przedszkolu (rys. 2).

W analogicznych badaniach przeprowadzonych w przedszkolu w Białymstoku [16] wskazano, że powietrze ze względu na stężenie CO<sub>2</sub> generalnie jest wysokiej bądź średniej jakości (WEW1 - WEW2). Autorka pracy [16] wspomina również o niskiej jakości powietrza w godzinach popołudniowych (WEW4). W prowadzonych badaniach dla 24 h okresu pomiarowego powietrze wewnątrz sal również było głównie wysokiej jakości (WEW1). Jednakże za bardziej zasadne uznano przeanalizowanie jakości powietrza wewnątrz pomieszczeń w czasie przebywania dzieci. Analiza jakości powietrza w dwóch przedziałach czasowych, tj. w godzinach otwarcia przedszkola (6:30 - 16:30) oraz podczas obowiązkowych 5 godzin zajęć przedszkolnych (8:00-13:00), wykazała przede wszystkim niską jakość powietrza (średnio 68%). Wysoka jakość powietrza stanowiła średnio 15% w godzinach pracy przedszkola i jedynie 6% w czasie obowiązkowych 5 godzin zajęć w przedszkolu.



Rys. 2. Zestawienie klasyfikacji jakości powietrza wewnętrznego w zależności od przyrostu stężenia CO<sub>2</sub> (ACO<sub>2</sub>)

Fig. 2. Classification of indoor air quality (WEW) in nursery school building (according to growth of CO<sub>2</sub> concentration (ACO<sub>2</sub>))

W rozpatrywanych przedziałach czasowych nie stwierdzono również istotnych różnic w jakości powietrza między salami dzieci starszych (I) i młodszych (II). Generalnie powietrze niskiej jakości (WEW4) występuje średnio o 5% częściej w sali I. Biorąc pod uwagę, że sala dzieci starszych znajduje się na I piętrze nad salą dzieci młodszych, spodziewano się większych różnic w jakości powietrza między salami I i II, wynikających z wydajności naturalnego systemu wentylacji [41, 42].

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stężeń zanieczyszczeń powietrza potencjalnie groźnych dla zdrowia dzieci, tj. lotnych związków organicznych (LZO), pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> oraz bioaerozoli (bakteryjnego i grzybowego), w obu badanych salach przedszkola (sala dzieci starszych - I oraz dzieci młodszych - II) generalnie stwierdzono wyższe stężenia wymienionych zanieczyszczeń w odniesieniu do wyników pomiarów równoległych przeprowadzonych na zewnątrz budynku przedszkola.

Wyniki badań przeprowadzonych w okresie grzewczym wskazują, że najwyższe stosunki stężeń zanieczyszczeń wewnątrz budynku do stężeń na zewnątrz budynku - wskaźnik I/O występowały dla LZO, gdzie dla sumy 16 LZO stosunek I/O w zależności od sali waha się od 5 do 20. Jednakże nie zostały przekroczone stężenia dopuszczalne normowanych LZO (benzenu, toluenu, styrenu, etylobenzenu, ksyle-nów i naftalenu).

W przypadku pyłu średni stosunek stężeń I/O dla PM<sub>10</sub> sięga 2,9, a dla PM<sub>2,5</sub> wynosi 1,9. Zależność I/O stwierdzono na podobnym poziomie dla aerozoli grzybowych (około 1,8), natomiast dla aerozoli bakteryjnych średni wskaźnik I/O sięga 8,5, co wskazuje na istotną rolę emitorów wewnętrznych.

Wykonywano również pomiary stężeń CO<sub>2</sub> jako wskaźnika skuteczności systemu wentylacji. Biorąc pod uwagę dobowy rozkład stężeń CO<sub>2</sub>, w obu badanych salach przeważała 1 kategoria WEW, dlatego można by sądzić, że dzieci przebywały w pomieszczeniach o wysokiej jakości powietrza, jednak nie jest to prawdą. W czasie przebywania dzieci w salach powietrze wewnątrz pomieszczeń było przede wszystkim niskiej jakości - WEW4. Jego udział w zależności od czasu uśredniania wahał się od 65 do 72%.

W sali dzieci młodszych (II) w porównaniu do sali dzieci starszych (I) występuje nieco więcej materiałów chłonnych, stąd spodziewano się wyższych stężeń LZO, związanych z ich wtórną emisją. Jednakże pomiary nie potwierdziły tej zależności, czyli forma leżakowania dzieci młodszych (na karimatach pod kocami) nie wiąże się z wyższym narażeniem na LZO w stosunku do dzieci starszych (nieleżakujących). W przypadku bioaerozoli bakteryjnych nie stwierdzono istotnych różnic między salami. Jednakże różnice między salami stwierdzono dla bioaerozoli grzybowych, gdzie w sali dzieci młodszych (II) stwierdzono 2-krotnie wyższe stężenia w porównaniu z salą dzieci starszych (I). Natomiast w przypadku pyłu dla wszystkich badanych frakcji (TSP, PM10, PM2,5 i PM1) to w sali I stwierdzono około 2-krotnie wyższe stężenia pyłu w porównaniu z salą II. Stanowi to potwierdzenie istotnej roli wtórnego unoszenia pyłu w sali bardziej ruchliwych - dzieci starszych. Stwierdzona zależność dotyka istotnej kwestii - obowiązkowego pokrycia podłogi dywanem lub wykładziną dywanową, które tak w przedszkolach, jak i w pierwszych klasach szkół podstawowych mogą stanowić istotne źródło zanieczyszczenia pyłem, co może negatywnie oddziaływać na zdrowie dzieci przebywających w danym pomieszczeniu. W badanym przedszkolu, jak również w innych jednostkach oświatowych, należałoby rozważyć zasadność zmiany pokrycia podłogi lub obowiązkowego okresowego czyszczenia powierzchni dywanowych na mokro. W sali dzieci starszych (I) stwierdzono także częstsze występowanie powietrza o niskiej jakości, co może wynikać z mniejszej wydajności systemu wentylacji na pierwszym piętrze badanego budynku.

## Podziękowania

*Autorzy dziękują drowi hab. Józefowi Pastuszce prof. nadzw. w Politechnice Śląskiej z Katedry Ochrony Powietrza, a także Dyrekcji i personelowi Przedszkola Miejskiego nr 20 w Gliwicach za okazaną pomoc i życzliwość podczas realizacji projektu CHEIN.*

*Badania prowadzące do tych wyników uzyskały finansowanie ze środków w ramach Programu Polsko-Norweska Współpraca Badawcza realizowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Norweskiego Mechanizmu Finansowego na lata 2009-2014, projekt nr Pol-Nor / 210247/20/2013.*

*The research leading to these results has received funding from the Polish-Norwegian Research Programme operated by the National Centre for Research*

*and Development under the Norwegian Financial Mechanism 2009-2014 in the frame of Project Contract No Pol-Nor/210247/20/2013.*

## Literatura

- [1] Ashmore M.R., Dimitroulopoulou C., Personal exposure of children to air pollution, *Atmospheric Environment* 2009, 43, 128-141.
- [2] Busoon S., Breyse P., Yang W., Volatile organic compounds concentrations in residential indoor and outdoor and its personal exposure in Korea, *Environment International* 2003, 29, 79-85.
- [3] Pekey H., Arslanbaş D., The relationship between indoor, outdoor and personal VOC concentrations in homes, offices and schools in the metropolitan region of Kocaeli, Turkey, *Water Air Soil Pollution* 2008, 191, 113-129.
- [4] Bernstein J. A., Alexis N., Bacchus H., Bernstein I.L., Fritz P., Horner E., Li N., Mason S., Nel A., Oullette J., Rejjula K., Reponen T., Seltzer J., Smith A., Tarlo S.M., The health effects of nonindustrial indoor air pollution, *The Journal of Allergy and Clinical Immunology* 2008, 121, 35, 585-591.
- [5] Santamouris M., Synnefa A., Assimakopoulos M., Livada I., Pavlou K., Papaglastra M., Gaitania N., Kolokotsa D., Assimakopoulos V., Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation, *Energy and Buildings* 2008, 40, 1833-1843.
- [6] Park K.-H., Jo W.-K., Personal volatile organic compound (VOC) exposure of children attending elementary schools adjacent to industrial complex, *Atmospheric Environment* 2004, 38, 1303-1312.
- [7] Salvi S., Health effects of ambient air pollution in children, *Paediatric Respiratory Reviews* 2007, 8, 275-280.
- [8] Daisey J.M., Angell W.J., Apte M.G., Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information, *Indoor Air* 2003, 13, 53-64.
- [9] Sofuoglu S.C., Guler A., Fikret I., Sofuoglu A., An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools, *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2011, 214, 36-46.
- [10] Godwin C., Batterman S., Indoor air quality in Michigan schools, *Indoor Air* 2007, 17, 109-121.
- [11] Gennaro G., Farella G., Marzocca A., Mazzone A., Tutino M., Indoor and outdoor monitoring of volatile organic compounds in school buildings: Indicators based on health risk assessment to single out critical issues, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2013, 10, 6273-6291.
- [12] Król S., Namieśnik J., Zabiegała, B.,  $\alpha$ -Pinene, 3-carene and d-limonene in indoor air of Polish apartments: The impact on air quality and human exposure, *Science of the Total Environment* 2014, 468-469, 985-995.
- [13] Almeida-Silva M., Wolterbeek H.T., Almeida S.M., Elderly exposure to indoor air pollutants, *Atmospheric Environment* 2014, 85, 54-63.
- [14] Zwoździak A., Sówka I., Fortuna M., Wpływ stężeń pyłów (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>) w środowisku wewnątrz szkoły na wartości wskaźników spirometrycznych u dzieci, *Rocznik Ochrona Środowiska* 2013, 15, 2022-2038.
- [15] Dumala S.M., Dudzińska M.R., Microbiological indoor air quality in Polish schools, *Rocznik Ochrona Środowiska* 2013, 15, 231-244.
- [16] Gładyszewska-Fiedoruk K., Correlations of air humidity and carbon dioxide concentration in the kindergarten, *Energy and Buildings* 2013, 62, 45-50.

- [17] Branco P.T.B.S., Alvim-Ferraz M.C.M., Martins F.G., Sousa S.I.V., Indoor air quality in urban nurseries at Porto city: Particulate matter assessment, *Atmospheric Environment* 2014, 84, 133-143.
- [18] Yoon C., Lee K., Park D., Indoor air quality differences between urban and rural preschools in Korea, *Environmental Science Pollution Research* 2011, 18, 333-345.
- [19] Salvato J., Nemerow N., Agardy F., *Environmental Engineering*, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey 2003.
- [20] ASHARE Handbook - Fundamentals, Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Ogrzewnictwa i Wentylacji, 2009.
- [21] Ogulei D., Hopke P.K., Wallace L.A., Analysis of indoor particles size distributions in an occupied townhouse using positive matrix factorization, *Indoor Air* 2006, 16, 204-15.
- [22] Pope C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Ito K., Thurston G.D., Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, *Journal American Medical Association* 2002, 287, 1132-1141.
- [23] Zanobetti A., Schwartz P., The effect of particulate air pollution on emergency admissions for myocardial infarction: a multicity case-crossover analysis, *Environmental Health Perspectives* 2005, 113, 978-982.
- [24] Wellenius G.A., Schwartz J., Mittleman M.A., Particulate air pollution and hospital admissions for congestive heart failure in seven United States cities, *American Journal of Cardiology* 2006, 97, 404-408.
- [25] Fajersztajn L., Veras M., Barrozo L.V., Saldiva P., Air pollution: a potentially modifiable risk factor for lung cancer, *Nature Reviews Cancer* 2013, 13, 674-678.
- [26] Barrett J.R., Assessing the health threat of outdoor air: Lung cancer risk of particulate matter exposure, *Environmental Health Perspectives* 2014, 122, A252.
- [27] Li Y.-G., Gao X., Epidemiologic studies of particulate matter and lung cancer (Review), *Chinese Journal of Cancer* 2014, 33, 376-380.
- [28] Kołżan B., Adamiak W., Grabas K., Pawelczyk A., *Podstawy mikrobiologii w ochronie środowiska*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.
- [29] Nevalainen A., Willeke K., Liebhaber F., Pastuszka J., Burge H., Henningson E., *Bioaerosol sampling, Aerosol Measurement: Principles, Techniques and Applications*, [in:] K. Willeke and P. Baron (eds.), Van Nostrand Reinhold, New York 1993.
- [30] Pastuszka J.S., Wlazło A., Łudzeń-Izbińska B., Pastuszka K., *Aerazol bakteryjny i grzybowy w sali gimnastycznej, Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów* 2004, 2, 62-66.
- [31] Almeida S.M., Canha N., Silva A., do Carmo Freitas M., Pegas P., Alves C., Evtyugina M., Adrião Pio C., Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools, *Atmospheric Environment* 2011, 45, 7594-7599.
- [32] PN-EN 13779:2008 Wentylacja budynków niemieszkalnych. Wymagania dotyczące właściwości instalacji wentylacji i klimatyzacji.
- [33] Shendell D.G., Prill R., Fisk W.J., Apte M.G., Blake D., Faulkner D., Associations between classroom CO<sub>2</sub> concentrations and student attendance in Washington and Idaho, *Indoor Air* 2004, 14, 333-341.
- [34] Mydlarz C.A., Conetta R., Connolly D., Comparison of environmental and acoustic factors in occupied school classrooms for 11-16 year old students, *Building and Environment* 2013, 60, 265-271.
- [35] SKC, VOC method update SKC appendices to EPA method TO-17, Publication 1667, Year 2005, [www.skcin.com/instructions/1667.pdf](http://www.skcin.com/instructions/1667.pdf)
- [36] Kozielska B., Poziomy stężenie benzenu i jego alkilowych pochodnych w powietrzu atmosferycznym w Gliwicach, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* 2013, 15, 81-88.
- [37] IARC (International Agency for Research on Cancer), IARC Monogr. 1982.
- [38] Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej, MP 1996, Nr 19, poz. 231.

- [39] Demirel G., Özden T., Döğeroğlu T., Gaga E.O., Personal exposure of primary school children to BTEX, NO<sub>2</sub> and ozone in Eskişehir, Turkey: Relationship with indoor/outdoor concentrations and risk assessment, *Science of the Total Environment* 2014, 473-474, 537-548.
- [40] Zwoździak A., Sówka I., Krupińska B., Zwoździak J., Nych A., Infiltration or indoor sources as determinants of the elemental composition of particulate matter inside a school in Wrocław, Poland? *Building and Environment* 2013, 66, 173-180.
- [41] Nantka M.B., Airtightness and natural ventilation: A case study for dwellings in Poland, *International Journal of Ventilation* 2005, 4, 79-92.
- [42] Ray S.D., Glicksman L.R., Increased natural ventilation flow rates through ventilation shafts, *International Journal of Ventilation* 2013, 12, 195-210.

## Children Exposure to Air Pollutants in Nursery School Near a Major Road in Urban Area

Children are particularly sensitive to pollutants. The reason for this is that, according to body weight, they breathe in more air than adults. Moreover, due to rapid growth, their immature immune system is more vulnerable to damage than already mature organisms. Children aged 3 to 6 spend large amounts of time indoors, so there is a necessity to evaluate the quality of air in nursery schools. This study investigated the concentrations of volatile organic compounds (VOCs), particulate matter (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub>) and bioaerosols. The concentration of CO<sub>2</sub> was monitored as the indicator of ventilation efficiency. The measurements were performed during winter, in two classrooms and outside the nursery school building located in the centre of Gliwice (Upper Silesia), near a road with high traffic. Outdoor concentrations were lower than those indoors for each inspected classroom. For the sum of 16 VOCs, the I/O ratio, depending on classroom, varied from 2 to 5, PM<sub>10</sub> reached 4 and for PM<sub>2.5</sub>, the ratio was about 2. For fungi bioaerosols, the average I/O ratio was about 2, while for bacteria, aerosols exceeded 8. The evaluation of indoor air quality (IAQ) based on CO<sub>2</sub> concentration differed from averaging time. Taking into consideration the 24 hour distribution of CO<sub>2</sub> concentration in both classrooms dominated the first category of indoor air quality (WEW1), we can expect that children stayed in the environment with high air quality, however, this was not the case. During children's nursery school attendance for the duration of the working day and throughout five-hour elementary nursery care, the air inside classrooms was mostly 65 to 72% of poor quality (WEW4). In the case of certain pollutants, significant differences in air quality were found between the classrooms of older (I) and younger (II) children. For fungal bioaerosols, the concentration was twice as high in the classroom of younger children (II) compared to the classroom of older children (I). However, in the case of particulate matter, for all studied fractions (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub>), concentrations were about twice as high in classroom I compared to classroom II. This confirms the important role of particulate matter resuspension in classroom I as a result of the intensive activity of older children. Compared to the classroom of older children (I), in the classroom of younger children (II) there were more absorbent materials; hence, we expected higher concentrations of VOCs associated with secondary sources. However, concentrations of VOCs did not confirm this relationship. In the case of bacterial bioaerosols, no significant differences were observed between the classrooms. Continuous measurements of CO<sub>2</sub> concentrations showed that in the classroom of older children (I), the air was negligibly worse than in the classroom of younger children (II); this may have been due to the lower efficiency of the natural ventilation system on the first floor of the investigated building.

**Keywords:** indoor air, children, volatile organic compounds, particulate matter, bioaerosols, carbon dioxide