

ZMIENNOŚĆ MIKROBIOLOGICZNEGO ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA ORAZ STĘŻENIA PYŁU WEWNĄTRZ I NA ZEWNĄTRZ WYBRANEJ POZNAŃSKIEJ SZKOŁY

Małgorzata Basińska¹, Michał Michałkiewicz¹

¹ Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska, ul. Berdychowo 4, 61-131 Poznań, e-mail: malgorzata.basinska@put.poznan.pl, michal.michalkiewicz@put.poznan.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono analizę zmienności parametrów jakości powietrza realizowanych w dwóch cyklach pomiarowych (marzec 2013 i listopad 2014 r.) w wybranym budynku edukacyjnym z lat 70-tych. Pomiary w każdym cyklu badań przeprowadzono w dwóch salach dydaktycznych o powierzchni 50,3 m² (S.09 do nauczania początkowego i S.26 dla uczniów gimnazjum). Do analizy wyników badań wykorzystywano głównie pomiary wykonywane przed lekcjami, bezpośrednio po ich zakończeniu oraz na zewnątrz budynku. Badania obejmowały ocenę fizycznej jakości powietrza (tygodniowy, ciągły pomiar zmienności temperatury wewnętrznej i zewnętrznej, wilgotności względnej oraz stężenia CO₂) oraz mikrobiologicznej (ogólna liczebność bakterii mezofilnych i psychrofilnych, gronkowców, promieniowców, *Pseudomonas fluorescens* oraz grzybów mikroskopowych hodowanych na dwóch pożywkach). Badania mikrobiologiczne prowadzono przed lekcjami i bezpośrednio po ich zakończeniu. Dodatkowo w tych samych terminach (przed i po lekcjach) pobrano próbki powietrza w celu określenia koncentracji i rozkładu cząstek pyłu w salach w 1 dm³. Uzyskane wyniki badań wskazują, że stężenie ditlenku węgla wahało się w salach od 414 do 3133 ppm, a w środowisku zewnętrznym od 300 do 713 ppm. Temperatura ulegała znacznym wahaniom. Wewnątrz pomieszczeń notowano od 10,0 do 27,1 °C, a w tle badań od -1,5 do 23,0 °C. Na podstawie wartości średnich można jednak stwierdzić, że problemem jest zbytne przegrzanie sal lekcyjnych. Wilgotność względna wykazywała dużą zmienność (od 22,6 do 91,6%). Wyniki pomiarów mikrobiologicznych porównano z polskimi wytycznymi (PN), które klasyfikują stopień czystości powietrza w funkcji liczby mikroorganizmów w 1 m³ powietrza. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że fizyczna jakość powietrza jest niezadawalająca. Okresowe przekroczenie stężenia ditlenku węgla ponad poziom zalecany powoduje, że sale zaliczono do IV kategorii. Wahania temperatury i zbyt wysoka wartość średnia wyklucza zaliczenie pomieszczeń do I kategorii. Duże wahania wilgotności są także niekorzystne dla osób przebywających w salach. Pomiary stężenia pyłu wykazały, że sale sklasyfikowano do najgorszej klasy. Stwierdzono w badanych pomieszczeniach okresowe przekroczenie parametrów fizycznych i mikrobiologicznych powietrza.

Słowa kluczowe: jakość powietrza, szkoła, stężenie CO₂, pyły, temperatura, mikroorganizmy

VARIABILITY OF MICROBIAL AIR POLLUTION AND DUST CONCENTRATION INSIDE AND OUTSIDE A SELECTED SCHOOL IN POZNAŃ

ABSTRACT

The article presents an analysis of the variability of air parameters quality realized in the two cycles measured (03.2013 and 11.2014). The measurements were made during 1.5 years in selected educational building from the 70s. Measurements in each cycle research were carried out in two classrooms, before lessons and directly after they are finished and outside the building. The research included an assessment of the physical air quality (the air temperature, relative humidity, CO₂ concentration) and microbiological contamination (the general count of mesophilic bacteria, the general count of psychrophilic bacteria, the count of staphylococcus (*Staphylococcus*) mannitol positive (type α) and mannitol negative (type β), the count of *Pseudomonas fluorescens* bacteria, actinobacteria (*Actinobacteria*), as well as the general count of microscopic fungi). Additionally, air samples were taken to determine the concentration of dust in the classroom before lessons and immediately after their end. The quality of the physical air correlated with the abundance and activity of students in classrooms. The measurement results of microbiological contaminations were compared with the Polish requirements (PN), in order to classify the degree

of air pollution as a function of microorganisms in 1 m³ of air. On the basis of the measurements it was found that the analysed school physical air quality is unsatisfactory. Periodically, the acceptable levels of selected groups of microorganisms were exceeded. The measurement of dust concentrations showed that pupils' activity inside the classrooms leads to secondary dust particles entrain.

Keywords: air quality, school, classrooms, CO₂ concentration, dust, temperature, microorganisms

WPROWADZENIE

Zgodnie z danymi statystycznymi w różnego rodzaju wnętrzach (dom, biuro, sklep, szkoła) spędzamy 85–90% czasu naszego życia. Problemy z koncentracją, podrażnienia oczu, nosa i gardła, bóle głowy, choroby układu oddechowego, astma, alergia, to tylko niektóre z konsekwencji, jakie możemy ponieść oddychając w pomieszczeniach powietrzem o pogorszonej jakości. Niewystarczająca wymiana powietrza w pomieszczeniu może prowadzić do wystąpienia tzw. syndromu chorego budynku (SBS – ang. *Sick Building Syndrome*) (Pełech 2011, Pastuszka 2002).

W dzisiejszych czasach mamy duże możliwości kształtowania jakości powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach (Połednik 2013). W państwach Europy zachodniej nikogo nie dziwi widok szkoły z wentylacją mechaniczną, w Polsce jest to niestety jak na razie rzadkość. W Polsce, co piąta szkoła znajduje się w budynku wybudowanym przed II wojną światową, prawie co piąta w budynku z lat sześćdziesiątych, pozostałe szkoły zostały wzniesione w latach dziewięćdziesiątych, a nieliczne powstają współcześnie (Bogdan 2011). Zagadnieniom jakości powietrza w szkole poświęcono wiele prac ze względu na niewystarczający poziom wentylacji w klasach, często złą konstrukcję budynku albo złą jego eksploatację (Alves i in. 2016). Liczni autorzy zwracają uwagę na możliwość pojawienia się symptomów alergii i astmy wywołanych przebywaniem uczniów w zanieczyszczonych pomieszczeniach (Abidin i in. 2014, Denning i in. 2006, Gent i in. 2012, Moon i in. 2009, Bogacka 2011).

Niebezpiecznymi zanieczyszczeniami powietrza wewnętrznego są bioaerozole i aerozole (Law i in. 2001, Agranovski i in. 2002, An i in. 2004, Ejdyś 2009, Douwes i in. 2003). Najbardziej niebezpieczna jest najdrobniejsza frakcja aerozoli (PM_{2,5}), ponieważ wnika ona do głębszych części układu oddechowego (Nazaroff 2004, Burge 1990). W ostatnim dziesięcioleciu ukazało się wiele prac dotyczących stężenia w powietrzu cząstek stałych w klasach szkolnych, w szczególności PM₁₀ i PM_{2,5} (Froome i in. 2008, Alves i in.

2013, Fischer i in. 2015). Jo & Seo 2005 oraz Meclin i in. 2002a, 2002b zwracają jednak uwagę, że informacje na temat występujących w pomieszczeniach szkolnych poziomów i rodzajów aerozoli są niepełne oraz niewystarczające ponieważ nie obejmują wszystkich elementów wchodzących w ich skład. Pył o frakcji PM₁₀ traktowany jest jako zanieczyszczenie „wtórne”. W Polsce klasyfikację zanieczyszczeń pyłowych omawia norma PN-EN ISO 14644-1:2016-03, która wprowadza 9 klas czystości powietrza.

Czynnikami sprzyjającymi obecności bioaerozoli jest odpowiednia temperatura i wilgotność względna powietrza. Na zmiany liczebności drobnoustrojów oraz parametrów fizycznej jakości powietrza w pomieszczeniu ma wpływ zastosowany systemy ogrzewania, wentylacji lub klimatyzacji oraz eksploatacji pomieszczeń (Górny i in. 2002, Czapka 2004). Dobrym wskaźnikiem do oceny jakości powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach może być stężenie ditlenku węgla (Muscatiello i in. 2015, Godwin & Batterman 2007, Hospodsky i in. 2015). Stężenie powyżej 1000 ppm jest powszechnie uważane za wskaźnik powietrza zanieczyszczonego, natomiast poniżej 1000 ppm nie zawsze gwarantuje, że szybkość wentylacji jest adekwatna do usuwania zanieczyszczeń powietrza pochodzących ze źródeł wewnętrznych (Daisey 2003, ASHRAE).

Badanie bioaerozolu oraz parametrów fizycznych powietrza w pomieszczeniach szkolnych odgrywa ważną rolę, gdyż uczniowie i nauczyciele przebywając po kilka godzin w szkole nie mogą być narażeni na warunki szkodliwe dla ich zdrowia. Zgodnie z Polskimi Normami należy analizować zagęszczenie bakterii i grzybów w powietrzu (PN-89/Z-04111/01, 02, 03), a uzyskane wyniki są podstawą oceny stopnia skażenia pomieszczeń przez drobnoustroje. Inne normy lub przepisy budowlane zwracają uwagę m.in. na stężenie ditlenku węgla, obecność pyłów, sprawność i wydajność systemu wentylacji, rodzaj użytych materiałów budowlanych, wielkość pomieszczeń i zagęszczenie osób w salach lekcyjnych (Basińska i in. 2016).

W ramach współpracy z Wojewódzką Stacją Sanitarno – Epidemiologiczną w Poznaniu od 2012 roku prowadzone są badania jakości powietrza w wybranych placówkach oświatowych. Badania obejmują ocenę fizycznej (temperatura, wilgotność względna, stężenie ditlenku węgla, liczba cząstek pyłów) oraz mikrobiologicznej (bakterie i grzyby mikroskopowe) jakości powietrza. W każdej ze szkół pomiary realizowane są w dwóch cyklach pomiarowych w sezonie grzewczym i obejmują badania powietrza przed i po lekcjach. Przy wyborze takiego terminu badań kierowano się założeniem, że okna w salach lekcyjnych są najczęściej zamknięte, a wietrzenie klas odbywa się zwykle w czasie przerw.

W artykule przedstawiono stan jakości powietrza w salach lekcyjnych wybranej szkoły w dwóch okresach pomiarowych. Zaprezentowano wyniki pomiarów fizycznej i mikrobiologicznej jakości powietrza. Pierwsza seria badawcza obejmowała badania pilotażowe, w wyniku których zauważono pewne nieprawidłowości w wymianie powietrza w salach lekcyjnych. Zgodnie z ustalonym cyklem badań po okresie kilkunastu miesięcy powtórzono badania w celu sprawdzenia czy w szkole zastosowano się do uwag wynikających z badań pilotażowych i czy miało to wpływ na poprawę jakości powietrza.

MATERIAŁY I METODY

Lokalizacja i opis stanowisk badawczych

Pomiary jakości powietrza przeprowadzono w jednej ze szkół wybudowanych około 1970 roku. Badania realizowano w dwóch salach lekcyjnych o powierzchni 50,3 m² i kubaturze 158 m³. Pomieszczenia te ogrzewane są grzejnikami płytowo – konwektorowymi. Wymiana powietrza w pomieszczeniach odbywa się za pomocą wentylacji naturalnej (kratki wentylacyjne o wymiarach 0,18 m x 0,24 m). W szkole wszystkie okna są plastikowe bez rozszczelnienia i nawiewników okiennych.

Sala 9 (S.09) – znajduje się na parterze budynku. Jest to klasa dla dzieci nauczania początkowego, w której przebywa od 2 do 23 osób. W sali na całej szerokości ściany zamontowano szafę, która zasłoniła trzy kanały wentylacji grawitacyjnej. Spowodowało to ograniczenie w przepływie powietrza wentylacyjnego w sali.

Sala 26 (S.26) – znajduje się na pierwszym piętrze. Jest to klasa, w której lekcje mają uczniowie gimnazjum. W sali przebywa od 2 do 27 osób, a wentylacja realizowana jest za pomocą czterech krutek wentylacyjnych o wymiarach 0,18 m x 0,24 m każda, znajdujących się z przodu sali (ponad tablicą).

Terminy badań

W celu oceny jakości powietrza w budynku edukacyjnym wykonano badania wybranych parametrów fizycznych i mikrobiologicznych powietrza w dwóch terminach, w odstępie około półtorarocznym. Pierwsza, pilotażowa seria badawcza (1) obejmowała pomiary jakości powietrza w dniu 05.03.2013 r., druga, kontrolna seria (2) w dniu 05.11.2014 r. Badania mikrobiologiczne oraz liczby cząstek pyłu zawieszonego w 1 m³ powietrza atmosferycznego każdorazowo wykonywano rano (między 6:10 a 7:30), przed lekcjami (R) oraz po południu (między 14:00 a 16:00), po zakończeniu lekcji (P). Pomiary prowadzono w dwóch salach dydaktycznych (S.09), (S.26) oraz na dworze, przed budynkiem (tło badań) (TB). Pobory próbek powietrza prowadzono na wysokości 130 cm od podłoża: w centralnej części sali (przy zamkniętych oknach), a w środowisku zewnętrznym około 15 m przed budynkiem.

Badanie fizycznej jakości powietrza

Pomiary stężenia ditlenku węgla, temperatury oraz wilgotności powietrza wykonywano w sposób ciągły od poniedziałku do piątku tygodnia szkolnego (4–8.03.2013 i 3–7.11.2014). Częstotliwość dokonywania pomiarów przez czujniki wynosiła 2 minuty. W czasie pomiarów korzystano z atestowanych przyrządów.

Badania bioaerozolu

Podstawą do określenia stopnia mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza jest liczebność wykrytych mikroorganizmów występujących w 1m³ powietrza oraz ich zróżnicowanie gatunkowe. Według Polskich Norm: PN-89/Z-04111/01, 02 i 03 powinno się badać takie drobnoustroje jak: bakterie mezofilne, *Pseudomonas fluorescens*, gronkowce (*Staphylococcus*) hemolizujące, mannitolododatnie i mannitoloujemne, promieniowce (*Actinobacteria*) i grzyby mikroskopowe.

Zgodnie z normą PN-EN 14583:2008 próbki powietrza pobrano metodą zderzeniową za pomocą mikrobiologicznego próbnika MAS 100-Eco firmy Merck, a wyniki badań podano jako liczbę jednostek tworzących kolonie w 1 m³ powietrza atmosferycznego [jtk/m³] (ang.: *colony forming units* CFU/m³). Uzyskane wyniki badań były podstawą do oceny jakości powietrza pod względem liczby bakterii i grzybów występujących w powietrzu.

Mikrobiologiczne badanie powietrza w dwóch salach lekcyjnych (S.09 i S.26) oraz w środowisku zewnętrznym (TB) przeprowadzono 05.03.2013 r., i 05.11.2014 r. Na każdym stanowisku badawczym pobierano próbki powietrza przed lekcjami (R) oraz po lekcjach (P). Podczas badań pobierano od 25 do 100 dm³ powietrza na standardowe płytki Petriego, na których znajdowała się odpowiednia pożywka do hodowli poszczególnych grup mikroorganizmów. Po określonym czasie hodowli zliczano wyrosłe kolonie bakterii i grzybów mikroskopowych, a uzyskane wyniki badań korygowano według tabeli przeliczeniowej Fellerera. Wszystkie hodowle prowadzono zgodnie z zaleceniami Polskich Norm. Dodatkowo po okresie hodowli dokonano częściowej identyfikacji wyrosłych drobnoustrojów stosując testy biochemiczne API.

Badania pyłu zawieszonego

Do określenia frakcji pyłowej występującej w powietrzu wykorzystano analizator czystości powietrza (Users Manual, 2007). Badania wykonano w każdym punkcie pomiarowym (S.09, S.26 i TB) pobierając 1,0 dm³ powietrza.

DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ

Fizyczna jakość powietrza

W budynkach, w których głównym źródłem zanieczyszczeń są ludzie, jako wiarygodny wskaźnik zanieczyszczenia powietrza można stosować stężenie ditlenku węgla. Wzrasta ono w czasie proporcjonalnie do liczby osób przebywających w pomieszczeniu. Również temperatura i wilgotność rosną na skutek emisji ciepła oraz pary wodnej przez człowieka. W tabelach 1, 2 i 3 zestawiono średnie oraz ekstremalne wartości badanych parametrów w poszczególnych salach lekcyjnych, w danych okresach pomiarowych (pierwsza seria badawcza od 4 do 8.03.2013 r., a druga seria od 3 do 7.11.2014 r.).

Niezależnie od analizowanej sali lekcyjnej i okresu pomiarowego w pomieszczeniach stwierdzono okresowe przekroczenia stężenia ditlenku

Tabela 1. Średnie oraz ekstremalne wartości stężenia CO₂
Table 1. Average and extreme values of CO₂ concentration

Okres pomiarowy/ Miejsce poboru		Stężenie CO ₂ [ppm]			
		maksymalne	minimalne	średnie	odchylenie standardowe
1	S.09	2982	414	940	640
	S.26	2958	456	1072	690
	TB	713	300	576	40
2	S.09	2983	441	1106	740
	S.26	3133	438	939	680
	TB	688	475	573	35

Tabela 2. Średnie oraz ekstremalne wartości temperatury
Table 2. Average and extreme values of temperatures

Okres pomiarowy/ Miejsce poboru		Temperatura [°C]			
		maksymalna	minimalna	średnia	odchylenie standardowe
1	S.09	25,1	10,0	21,2	1,4
	S.26	27,1	22,0	23,8	0,7
	TB	16,0	-1,5	5,7	4,2
2	S.09	26,1	17,2	22,4	1,0
	S.26	24,9	20,2	22,5	0,8
	TB	23,0	4,9	10,1	2,9

Tabela 3. Średnie oraz ekstremalne wartości wilgotności względnej**Table 3.** Average and extreme values of relative humidity

Okres pomiarowy/ Miejsce poboru		Wilgotność względna [%]			
		maksymalna	minimalna	średnia	odchylenie standardowe
1	S.09	40,5	22,6	31,1	2,0
	S.26	72,4	36,5	57,9	4,0
	TB	91,6	30,6	59,6	15,1
2	S.09	65,6	39,8	53,3	3,1
	S.26	68,5	44,0	52,7	4,0
	TB	bd	bd	bd	bd

bd – brak danych

węgla ponad poziom zalecany (tabela 1). Miało to miejsce w godzinach zajęć lekcyjnych, natomiast w nocy stężenie ditlenku węgla spadało do wartości minimalnych. Zgodnie z normą PN-EN 15251:2012 zalecane wartości stężenia ditlenku węgla powyżej stężenia w powietrzu zewnętrznym klasyfikują sale do kategorii IV, czyli do kategorii pomieszczeń poniżej normalnego poziomu oczekiwania, co powoduje, że jakość powietrza w klasach jest niewystarczająca. W obu salach lekcyjnych pojawiał się także duży problem z przegrzewaniem pomieszczeń. Według normy PN-EN 15251, dla sal lekcyjnych kategorii I pomieszczeń temperatura operacyjna powinna być utrzymywana na poziomie 21°C. Okresowo niska temperatura w sali S.09 wywołana częstym jej wietrzeniem może prowadzić do wzrostu ilości zachorowań uczniów na przeziębienie i grypę (tabela 2). Minimalna wilgotność względna

w pomieszczeniu powinna wynosić 30%, a niższa wartość może negatywnie oddziaływać na organizm człowieka. Wyższą wilgotność względną stwierdzono w sali S.26, w której przebywają uczniowie po zajęciach pływania.

Mikrobiologiczna jakość powietrza

Na podstawie wyników badań bioaerolu stwierdzono, że dla większości analizowanych drobnoustrojów ich liczebność po lekcjach była wyższa niż w godzinach rannych, przed lekcjami. Sytuacja taka dotyczyła zarówno badań z 2013 (1) i 2014 r. (2). Zauważono również, że w badaniach w 2014 r. (2) liczebność poszczególnych bakterii i grzybów rano, przed lekcjami była niekiedy kilkakrotnie wyższa niż w okresie (1). Podobnie wyższe wartości odnotowano w okresie (2 P) po lekcjach (tabela 4).

Tabela 4. Liczebność (jtk/m³) bakterii mezofilnych (ME), gronkowców mannitoloujemnych (GM-), gronkowców mannitolododatnich (GM+), bakterii psychrofilnych (PS), *Pseudomonas fluorescens* (PF), promieniowców (AC) oraz grzybów mikroskopowych wyhodowanych na pożywce Waksmana (WA) i Czapek-Doxa (Cz-D) w salach lekcyjnych i w tle badań rano (R) i po lekcjach (P)

Table 4. Numbers (cfu/m³) of mesophilic bacteria (ME), *Staphylococcus* mannitol negative (GM-), *Staphylococcus* mannitol positive (GM+), psychrophilic bacteria (PS), *Pseudomonas fluorescens* (PF), *Actinobacteria* (AC) and microscopic fungi in Waksman medium (WA) and Czapek-Dox medium (Cz-D) in classrooms and in the background studies in the morning (R) and after school (P)

Termin	Miejsce	ME	GM-	GM+	PS	PF	AC	WA	Cz-D
1	TB R	Nb	Nb	Nb	Nb	Nb	Nb	Nb	Nb
2		160	10	60	1160	20	400	1880	2520
1	TB P	10	0	0	2040	0	0	200	320
2		240	90	10	240	10	920	2800	3080
1	S.09 R	280	40	20	180	0	0	280	120
2		3120	990	10	2240	0	720	1000	520
1	S.09 P	4080	300	20	4920	0	0	980	200
2		109000	5570	180	10000	0	720	2440	2520
1	S.26 R	120	0	0	100	0	0	200	0
2		1560	720	50	1280	0	40	400	600
1	S.26 P	1940	520	20	2840	0	20	1020	240
2		1240	2060	260	5640	10	960	2680	3800

Nb – nie badano

Analizując liczebność poszczególnych grup drobnoustrojów zauważono, że:

- W obu seriach badawczych najliczniej występowały bakterie mezofilne (ME) i psychrofilne (PS).
- Największe zanieczyszczenie powietrza bakteriami mezofilnymi stwierdzono w 2014 r. w sali S.09 po lekcjach (2 P). Odnotowano tam aż ponad 100 tys. jtk bakterii mezofilnych w 1 m³ powietrza, podczas gdy rano (2 R) było 3120 jtk/m³. W ciągu dnia zajęć, liczebność tych bakterii wzrosła ponad 35 razy. Ale zarówno rano, jak i po lekcjach powietrze było tam silnie zanieczyszczone tymi bakteriami (ocena wg polskiej normy). Mimo, że w sali tej przebywa mniej uczniów niż w sali S.26, to duża aktywność ruchowa dzieci nauczania początkowego na zajęciach lekcyjnych może przyczyniać się do wzrostu emisji bakterii mezofilnych. Jednocześnie przy niesprawnym systemie wentylacji grawitacyjnej bakterie te mogą długo utrzymywać się w powietrzu.
- W sali S.26 w 2014 r. liczebność bakterii mezofilnych po lekcjach (2 P) była nieznacznie niższa niż rano (2 R).
- Mniejsze zanieczyszczenie powietrza bakteriami mezofilnymi było w 2013 r. Mimo, że w S.26 odnotowano 16-krotny wzrost bakterii mezofilnych po lekcjach (1 P), to liczebność tych bakterii wskazywała tylko na powietrze średnio zanieczyszczone tymi bakteriami (ocena wg polskiej normy).
- Liczebność bakterii psychrofilnych (PS) w 2014 r. osiągnęła w S.09 po lekcjach (2 P) 10000 jtk/1m³. Był to ponad 5-cio-krotny wzrost liczebności tych bakterii w porównaniu do godzin porannych. Natomiast w 2013 roku po lekcjach (1 P) odnotowano ponad 25-krotny wzrost tych drobnoustrojów w stosunku do godzin rannych.
- Wśród gronkowców (*Staphylococcus*) w salach lekcyjnych liczniejsze były formy mannitoloujemne (GM-), których liczebność po lekcjach była zdecydowanie wyższa niż w godzinach rannych. Maksymalną wartość 5570 jtk/1m³ stwierdzono w S.09 po lekcjach w 2014 r. (2 S.09. P), co było ponad 5-cio-krotnym wzrostem tych drobnoustrojów w stosunku do godzin rannych.
- Liczebność gronkowców mannitolododatnich (GM+) także najczęściej ulegała zwiększeniu po lekcjach, jednak w mniejszym stopniu niż form mannitoloujemnych. Maksymalną wartość 260 jtk/1m³ stwierdzono w S.26 po zajęciach lekcyjnych (2 S.26 P).
- Obecność gronkowców wskazywała na powietrze średnio lub silnie zanieczyszczone tymi bakteriami (ocena wg polskiej normy). Bezpośrednim źródłem gronkowców, jak i bakterii mezofilnych byli uczniowie, gdyż drobnoustroje te pochodzą od ludzi.
- W 2013 r. nie wykryto bakterii *Pseudomonas fluorescens*, natomiast promieniowce (*Actinobacteria*) były w niewielkich ilościach w S.26 po lekcjach (1 S.26 P). W 2014 r. stwierdzono znaczny wzrost promieniowców we wszystkich salach lekcyjnych oraz pojawienie się *Pseudomonas fluorescens* w S.26 po lekcjach (10 jtk/1m³) (2 S.26 P). Ich obecność świadczyła o średnim lub silnym zanieczyszczeniu powietrza (ocena wg polskiej normy). Obecność promieniowców wskazuje na zanieczyszczenie sal lekcyjnych cząstkami gleby, która może być wnoszona do klas na obuwiu uczniów.
- Liczebność grzybów mikroskopowych w 2013 r. (1) była niewielka i wskazywała na powietrze czyste (ocena wg polskiej normy). W 2014 r. (2) stwierdzono wyższe wartości (do 3800 jtk/1m³), jednak tylko w S.26 po lekcjach (2 S.26 P) powietrze było przeciętnie czyste (ocena wg polskiej normy). Niezależnie od terminu badań, liczebność grzybów w poszczególnych salach była zawsze wyższa po lekcjach. Wskazuje to, że źródłem grzybów nie są elementy budowlane (brak zagrzybienia ścian, elementów wyposażenia sal), ale uczniowie lub częściowo powietrze zewnętrzne.
- Tło badań (TB) było mniej zanieczyszczone w 2013 r. (1). W 2014 r. (2) w środowisku zewnętrznym wykryto *Pseudomonas fluorescens*, *Actinobacteria* oraz gronkowce, których nie było w tle w 2013 roku. W niektórych sytuacjach powietrze środowiska zewnętrznego było średnio lub silnie zanieczyszczone pod względem wybranych bakterii, a w 2014 r. pod względem obecności grzybów było przeciętnie czyste (ocena wg polskiej normy).

Dodatkowa identyfikacja mikroorganizmów wykazała, że wśród bakterii stwierdzono obecność m.in. takich rodzajów i gatunków jak: *Bacillus sp.*, *Micrococcus sp.*, *Staphylococcus hominis*, *Staphylococcus haemolyticus*, *Staphylococcus lugdunensis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas fluorescens*, a wśród grzybów *Acremonium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Candida sp.*, *Cladosporium sp.*, *Penicillium sp.* i *Rhodotorula sp.* Część tych mikroorganizmów stanowi naturalną

mikroflorę człowieka, ale są tu również formy oportunistyczne, jak i patogenne. Zdecydowana większość tych drobnoustrojów występowała po zajęciach lekcyjnych, co świadczy o wtórnym skażeniu sal lekcyjnych.

Pyłowe zanieczyszczenie powietrza

W tabeli 5 zestawiono liczbę cząstek pyłowych w poszczególnych salach lekcyjnych i w tle badań, w danych okresach pomiarowych.

Analizując liczbę cząstek pyłu zawieszonego stwierdzono, że najdrobniejsza frakcja (0,3 i 0,5 μm) na wszystkich stanowiskach i we wszystkich okresach badawczych była najliczniejsza w godzinach rannych, przed lekcjami, natomiast po lekcjach zauważono wzrost liczby cząstek większych (od 1,0 do 10,0 μm). Może mieć to związek z porannym sprzątaniem sal lekcyjnych, podczas których najdrobniejsze cząstki kurzu zostają wtórnie unoszone do powietrza.

Hospodsky i in. (2015), Kim & Park oraz nasze badania wskazują, że zarówno uczniowie, jak i powietrze zewnętrzne mogą być źródłem bioaerozolu, a na fizyczną i mikrobiologiczną jakość powietrza wpływa m.in. ilość uczniów, częstotliwość wietrzenia sal, stężenie CO_2 oraz wilgotność powietrza. Całodobowe pomiary koncentracji CO_2 i wilgotności wykazały, że w okresie zajęć lekcyjnych odnotowano najwyższe stężenia ditlenku węgla, wilgotności względnej oraz grubszej frakcji pyłów, a bezpośrednio po lekcjach najwyższe stężenie mikroorganizmów. Można zatem wnioskować, że źródłem tych zanieczyszczeń są bezpośrednio przebywające w pomieszczeniu osoby.

W naszych badaniach podczas identyfikacji mikroorganizmów najczęściej wykrywano bak-

terie z rodzaju *Bacillus sp.* i *Micrococcus sp.*, natomiast wśród grzybów *Aspergillus sp.*, *Candida sp.* i *Penicillium sp.* Zidentyfikowane rodzaje i gatunki drobnoustrojów spotykane są również w szkołach badanych przez innych autorów (Dumała & Dudzińska 2013, Mandal & Brandl 2011).

Na stan zanieczyszczenia powietrza wpływa również sposób i termin sprzątania pomieszczeń. Gołofit-Szymczak i in. (2015) zwracają uwagę, że ręczne zamiatanie podłóg może przyczyniać się do wzmożonej emisji aerozolu i cząstek kurzu, który jest znacznie mniejszy w pomieszczeniach, w których odbywa się sprzątanie na mokro. W szkole, w której prowadzono nasze badania sprzątanie odbywało się na sucho, co zgodnie ze spostrzeżeniami w/w autorów może przyczyniać się do wzrostu zanieczyszczeń unoszonych wtórnie do powietrza.

Szkodliwość pyłów zależy od ich wielkości i składu chemicznego. Prowadzona w szkole i środowisku zewnętrznym analiza pyłów obejmowała frakcje od 0,3 do 10,0 μm . Biorąc pod uwagę wymagania normy można stwierdzić, że powietrze we wszystkich punktach badawczych należy zaliczyć do najgorszej klasy, a wysokie stężenia cząstek powyżej 0,3 μm mogą wskazywać na obecność zarodników i drobnoustrojów.

Na szczególną uwagę zwraca fakt braku poprawy jakości powietrza w drugiej serii pomiarowej. Pierwsze pilotażowe badania wykazały m.in., że w sali S.09 nie działał poprawnie system wentylacji wywiewnej (zasłonięcie kratki wentylacyjnych). Mimo sugestii dotyczących prawidłowej wymiany powietrza (odsłonięcie kratki kanałów wentylacyjnych, zwiększenie częstotliwości wietrzenia sal), w drugiej serii badań nie zauważono poprawy jakości powietrza.

Tabela 5. Liczba cząstek pyłowych w powietrzu w salach S.09 i S.26 oraz w powietrzu zewnętrznym – TB
Table 5. Particle dust number in the air in classrooms S.09 and S.26 and outside air – TB

Sala lekcyjna/ Okres badań		Liczba cząstek pyłowych w 1 dm ³ powietrza					
		0,3 μm	0,5 μm	1,0 μm	2,0 μm	5,0 μm	10,0 μm
S.09	1R	173 910	36 331	3 058	574	104	37
	1P	108 860	25 506	8 958	6 020	1 490	250
	2R	106 317	15 622	1 466	395	75	22
	2P	81 496	14 289	4 737	3 152	869	213
S.26	1R	181 337	40 412	3 454	615	65	14
	1P	97 525	15 331	3 053	1 537	260	60
	2R	108 835	16 552	1 564	327	29	10
	2P	98 483	14 563	3 378	2 008	477	92
TB	1R	121 713	15 764	2 021	655	80	15
	2R	152 080	28 666	3 238	946	91	15
	2P	150 909	22 944	2 509	880	149	37

WNIOSKI

Wyniki badań były podstawą do wysunięcia następujących wniosków:

1. Dwie serie pomiarów fizycznej i mikrobiologicznej czystości powietrza wykazały, że jakość powietrza w badanych salach lekcyjnych jest niezadowolająca.
2. W badanych salach lekcyjnych stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych stężeń ditlenku węgla, wynikające między innymi z niewystarczającej wymiany powietrza.
3. Podczas badań pilotażowych w pierwszej serii badawczej wskazano, że w sali S.09 kratki wentylacyjne są zasłonięte. Zalecenia dotyczące odsłonięcia kratki i udrożnienia systemu wentylacji grawitacyjnej nie zostały zrealizowane.
4. Konsekwencją niesprawnego i mało wydajnego systemu wentylacyjnego oraz stosunkowo dużej liczby uczniów w salach (23 do 27 osób) jest wzrost stężenia ditlenku węgla w pomieszczeniach, w czasie lekcji do wartości około 3000 ppm, podczas gdy w środowisku zewnętrznym najwyższe wartości nie przekraczały 715 ppm. Średnie stężenie CO₂ w klasach było około dwukrotnie wyższe niż w środowisku zewnętrznym. Klasyfikacja badanych pomieszczeń wskazuje, że są one zaliczane do IV kategorii, czyli poniżej normalnego poziomu oczekiwania.
5. Całodobowe badania temperatury pomieszczeń dowodzą, że w salach notuje się okresy zbyt wysokiej, jak i za niskiej temperatury. Powodowane jest to zarówno przegrzaniem, jak i zbyt intensywnym wietrzeniem pomieszczeń.
6. Na podstawie badań mikrobiologicznych można stwierdzić, że w obu terminach badawczych powietrze w salach po lekcjach jest silniej zanieczyszczone pod względem wybranych grup drobnoustrojów. Największe niebezpieczeństwo dla zdrowia uczniów stwarzają podwyższone koncentracje bakterii mezofilnych oraz gronkowców, których źródłem są osoby przebywające w salach lekcyjnych.
7. Identyfikacja drobnoustrojów wskazuje na występowanie w powietrzu bakterii i grzybów oportunistycznych, alergizujących i potencjalnie chorobotwórczych.
8. Koncentracje zanieczyszczeń pyłowych klasyfikują badane pomieszczenia do najgorszej klasy.

LITERATURA

1. Abidin, E.Z., Semple, S., Rasdi, I., Ismail, S.N.S., Ayres, J.G. 2014. The relationship between air pollution and asthma in Malaysian schoolchildren. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 7, 421–432.
2. Agranovski, I.E., Agranovski, V., Reponen, T., Willeke, K., Grinshupun, S.A. 2002. Development and evaluation of a new personal sampler for culturable airborne microorganisms. *Atmospheric Environment*, 36, 889–898.
3. Alves, C., Duarte, M., Ferreira, M., Alves, A., Almeida, A., Cunha, A. 2016. Air quality in a school with dampness and mould problems. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 9, 2, 107–115.
4. Alves, C., Nunes, T., Silva, J., Duarte, M. (2013). Comfort parameters and particulate matter (PM10 and PM2.5) in school classrooms and outdoor air. *Aerosol and Air Quality Research*, 13, 1521–1535.
5. An, H.A., Mainelis G., Yao, M. 2004. Evaluation of a high-volume portable bioaerosol sampler in laboratory and field environments. *Indoor Air*, 14, 385–393.
6. ASHRAE Standard. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta 1989.
7. Basińska, M., Michałkiewicz, M., Górzeński, R. 2016. Jakość powietrza. Przepisy i wymagania dotyczące komfortu termicznego, minimalnego strumienia powietrza, stężenia ditlenku węgla i pyłów. *Rynek Instalacyjny*, 5, 54–58.
8. Bogacka, E. 2011. Wpływ współczesnych pomieszczeń na rozwój i przebieg chorób alergicznych. *Alergia Astma Immunologia*, 16, 2, 75–79.
9. Bogdan, A. 2011. Warunki środowiska w obiektach edukacyjnych. *Chłodnictwo & Klimatyzacja*, 7, 37–39.
10. Burge, H. 1990. Bioaerosols: prevalence and health effects in the indoor environment. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 86, 687–701.
11. Czapka, M. 2004. Zebrane zagadnienia bezpieczeństwa w szkole. *Nauczyciel i Szkoła*, 3–4, 24–25, 112–121.
12. Daisey, J. M., Angell, W. J., Apte, M. G. 2003. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor air*, 13, 1, 53–64.
13. Denning, D.W., O'Driscoll, B.R., Hogaboam, C.M., Bowyer, P., Niven, R.M. 2006. The link between fungi and severe asthma: a summary of the evidence. *European Respiratory Journal*, 27, 615–626.
14. Douwes, J., Thorne, P., Pearce, N., Heederik, D. 2003. Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *Annals of Occupational Hygiene*, 47, 187–200.
15. Dumała, S.M., & Dudzińska, M.R. 2013. Microbiological Indoor Air Quality in Polish Schools. *Rocznik Ochrony Środowiska*, 15, 231–244.

16. Ejdys, E. 2009. Wpływ powietrza atmosferycznego na jakość bioaerozolu pomieszczeń szkolnych w okresie wiosennym i jesiennym – ocena mikologiczna. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 41, 142–150.
17. Fischer, A., Ljungström, E., Hägerhed Engman, L., Langer, S. 2015. Ventilation strategies and indoor particulate matter in a classroom. *Indoor Air*, 25, 168–175.
18. Froome, H., Diemer, J., Dietrich, S., Cyrus, J., Heinrich, J., Lang, W., Kiranoglu, M., Twardella, D. (2008). Chemical and morphological properties of particulate matter (PM10, PM2.5) in school classrooms and outdoor air. *Atmospheric Environment*, 42, 6597–6605.
19. Gent, J.F., Kezik, J.M., Hill, M.E., Tsai, E., Li, D.W., Leaderer, B.P. 2012. Household mold and dust allergens: exposure, sensitization and childhood asthma morbidity. *Environmental Research*, 118, 86–93.
20. Godwin, C., & Batterman, S. 2007. Indoor air quality in Michigan schools. *Indoor Air*, 17, 109–121.
21. Gołofit-Szymczak, M., Górny, R.L., Ławniczek-Wałczyk, A., Cyprowski, M., Stobnicka, A. 2015. Aerozole bakteryjne i grzybowe w środowisku pracy firm sprzątających. *Medycyna Pracy*, 66, 6, 779–791.
22. Górny, RL, Reponen, T., Willeke, K., Schmechel, D., Robine, E., Boissier, M., Grinshpun, S.A. 2002. Fungal fragments as indoor air biocontaminants. *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (7), 3522–3531.
23. Hospodsky, D., Yamamoto, N., Nazaroff, W.W., Miller, D., Gorthal, a S., Peccia, J. 2015. Characterizing airborne fungal and bacterial concentrations and emission rates in six occupied children's classrooms. *Indoor Air*, 25, 641–652.
24. Jo, W.K., Seo, Y.J. 2005. Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes. *Chemosphere*, 61, 1570–1579.
25. Kim, S., & Park, J.Y. Investigation of the Indoor Bioaerosol Concentration in School Buildings. <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB8085.pdf>
26. Law, A.K.Y., Chau, C.K., Chang, G.Y.S. 2001. Characteristics of bioaerosol profile in office buildings in Hong Kong. *Building and Environment*, 36, 527–541.
27. Mandal, J., & Brandl, H. 2011. Bioaerosols in Indoor Environment – A Review with Special Reference to Residential and Occupational Locations. *The Open Environmental & Biological Monitoring Journal*, 4, 83–96.
28. Meklin, T., Husman, T., Vepsäläinen, A., Vahteristo, M., Koivisto, J., Halla-Aho, J., Hyvärinen, A., Moschandreas, D., Nevalainen, A. 2002a. Indoor air microbes and respiratory symptoms of children in moisture damaged and reference schools. *Indoor Air*, 12, 175–183.
29. Meklin, T., Reponen, T., Toivola, M., Koponen, V., Husman, T., Hyvärinen, A., Nevalainen, A. 2002b. Size distributions of airborne microbes in moisture-damaged and reference school buildings of two construction types. *Atmospheric Environment*, 36, 6031–6039.
30. Moon, J.S., Kim, Y.S., Kim, J.H., Son, B.S., Kim, D.S., Yang, W. 2009. Respiratory health effects among schoolchildren and their relationship to air pollutants in Korea. *International Journal Environmental Health Research*, 19, 31–48.
31. Muscatiello, N., McCarthy, A., Kielb, C., Hsu, W.H., Hwang, S.A., Lin, S. 2015. Classroom conditions and CO₂ concentrations and teacher health symptom reporting in 10 New York State Schools. *Indoor Air*, 25, 157–167.
32. Nazaroff, W.W. 2004. Indoor particle dynamics. *Indoor Air*, 14 (Suppl. 7), 175–183.
33. Pastuszka, J.S. 2002. Syndrom chorego budynku. *Atest*, 11, 16–17.
34. Pelech, A. 2011. Wentylacja i klimatyzacja. Podstawy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.
35. PN-89/Z-04111/01: Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Postanowienia ogólne i zakres normy.
36. PN-89/Z-04111/02: Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
37. PN-89/Z-04111/03: Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
38. PN-EN 14583:2008: Powietrze na stanowiskach pracy. Wolumetryczne urządzenia do pobierania próbek bioaerozolu. Wymagania i metody badań.
39. PN-EN 15251:2012. Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę.
40. PN-EN ISO 14644-1:2016-03. Pomieszczenia czyste i związane z nimi środowiska kontrolowane – Część I: Klasyfikacja i czystość powietrza na podstawie stężenia cząstek.
41. Poędnik B. 2013. Zanieczyszczenia a jakość powietrza wewnętrznego w wybranych pomieszczeniach. Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Środowiska, Monografie Nr 116, Lublin.
42. Users Manual. 2005. Fluke 983. Particle Counter.