



# **Aerozol bakteryjny w wybranych pomieszczeniach szkolnych woj. małopolskiego**

*Krzysztof Frączek, Maria J. Chmiel, Karol Bulski*  
*Uniwersytet Rolniczy, Kraków*

## **1. Wstęp**

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny wzrost świadomości społeczeństwa na temat zagrożeń związanych z nieodpowiednią mikrobiologiczną jakością powietrza w budynkach, na którą mają wpływ zanieczyszczenia występujące wewnątrz pomieszczeń oraz pochodzące ze środowiska zewnętrznego. Dotyczy to zwłaszcza budynków dydaktycznych, takich jak przedszkola i szkoły, gdyż dzieci stanowią szczególną grupę narażenia, ponieważ w odniesieniu do swojej masy ciała wdychają więcej powietrza niż dorośli (Korta-Peplowska i in. 2016, Mainka i in. 2015, Kubera i in. 2015) oraz ich organizmy w fazie wzrostu są bardziej podatne na uszkodzenia niż organizmy już rozwinięte (Mainka i in. 2015). Wiele badań przeprowadzonych w szkołach wskazuje na związki między poziomami zanieczyszczeń wewnątrz pomieszczeń a negatywnym wpływem na zdrowie ich użytkowników. Ze względu na swój ściśle określony charakter użytkowy w pomieszczeniach szkolnych istnieje możliwość wystąpienia zwiększonego zanieczyszczenia powietrza drobnoustrojami, które mogą być przyczyną zarówno problemów zdrowotnych uczniów, jak i nauczycieli, a także wpływać na komfort ich nauki i pracy (Mainka i in. 2015, Wlazło i in. 2008). Spośród mikroorganizmów największe znaczenie dla stanu zdrowia narażonych na kontakt z nimi osób mają bakterie. Mikroorganizmy te stanowią stały element środowiska, a łatwość rozprzestrzeniania się drogą powietrzną sprawia, że w sprzyjających warunkach mikroklimatycznych mogą wywierać ne-

gatywny wpływ na zdrowie osób przebywających w tego typu pomieszczeniach (Wlazło i in. 2008, Górny 2004).

Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie ilościowej analizy aerozolu bakteryjnego oraz wyznaczenie jego rozkładu ziarnowego w wybranych pomieszczeniach budynków szkolnych, zlokalizowanych w woj. małopolskim.

## 2. Materiały i metody

Badania przeprowadzono w okresie jesiennym w dziesięciu szkołach średnich, zlokalizowanych na terenie dziewięciu miejscowości województwa małopolskiego (Kraków/K1 i K2, Tarnów/T, Nowy Sącz/NS, Chrzanów/Ch, Myślenice/M, Olkusz/O, Andrychów/A, Limanowa/L, Korzkiew/Ko). W każdej z badanych szkół wyznaczono po 4 stanowiska pomiarowe zlokalizowane w pomieszczeniach szkolnych: sala lekcyjna mała (A), sala lekcyjna duża (B), sala gimnastyczna (C), korytarz (D). Wszystkie badane pomieszczenia były naturalnie przewietrzane poprzez okresową wymianę powietrza w pomieszczeniach przez otwieranie okien, drzwi lub innych otworów w przegrodach budowlanych. Ponadto dla wyznaczenia tzw. „tła zewnętrznego (Z)” badano aerozol bakteryjny, pobierany w środowisku na zewnątrz badanych obiektów. Pozwoliło to na określenie możliwej migracji zanieczyszczeń mikrobiologicznych do środowiska badanych wnętrz. W środowisku zewnętrznym próbki powietrza były pobierane jednokrotnie na jednym stanowisku pomiarowym wyznaczonym w otoczeniu każdego badanego obiektu.

Pobieranie próbek powietrza przeprowadzone zostało stacjonarnie, metodą wolumetryczną, przy zastosowaniu 6-stopniowego impaktora Andersena (model 10-710, Graseby-Andersen, Inc., Atlanta, GA, USA). Próbki powietrza pobierano jednokrotnie, w dwóch powtórzeniach, w czasie trwania zajęć lekcyjnych (w środku lekcji), w obecności uczniów i nauczycieli. Aparat umieszczano na wysokości 1,0-1,5 m nad podłogą lub gruntem (pomiarzy zewnętrzne) w celu pobrania próbek ze strefy oddechowej człowieka. Zastosowano 5-minutowy czas poboru aerozoli bakteryjnych. Próbki powietrza pobierano przy prędkości przepływu  $28,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . W celu pobrania próbek aerozolu bakteryjnego zastosowano podłoże mikrobiologiczne agar tryptozowo-sojowy (Tryptcase Soy Agar – TSA, BioMerieux, Polska) dla ogólnej liczby bakterii. Płytki z aga-

rem TSA inkubowano przez 1 dobę w 37°C a następnie przez 3 doby w 22°C i przez następne 3 doby w 4°C (Jensen i in. 1998). Przedłużona inkubacja próbek w kierunku bakterii miała na celu umożliwienie wzrostu szczepom rosnącym wolno w niższym zakresie temperatur. Po inkubacji przeprowadzono analizy ilościowe wyrosłych bakterii. Stężenie aerozolu bakteryjnego przedstawiono jako liczbę jednostek tworzących kolonie na metr sześcienny powietrza ( $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Równoległe z pomiarami aerozolu bakteryjnego rejestrowano wartości wilgotności względnej i temperatury powietrza przy użyciu anemometru Kestrel 4000 (Nielsen-Kellerman, USA) oraz wartości zapylenia (pył całkowity – PM10 i pył respirabilny – PM4) przy użyciu pyłomierza DustTrak II (model 8530, TSI Inc., Shoreview, MN, USA). Przez pył całkowity rozumie się wszystkie cząstki zawieszone w powietrzu, a przez pył respirabilny cząstki mniejsze niż 4,0  $\mu\text{m}$ . Według British Medical Research Council (BMRC) przyjęto definicję pyłu respirabilnego jako pyłu docierającego w procesie oddychania do obszaru pęcherzykowego płuc (Więcek 2011).

Z uwagi na fakt, że uzyskane dane charakteryzowały się rozkładem nieparametrycznym, analizy statystyczne przeprowadzono przy użyciu testu Kruskal'a-Wallis'a oraz korelację Spearman'a za pomocą programu Statistica v. 12 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA), przyjmując za statystycznie istotne wartości przy poziomie  $p < 0,05$ .

### 3. Wyniki i dyskusja

Stężenia aerozolu bakteryjnego w badanych budynkach szkolnych przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 1. Wykazano, że zakres stężenia aerozolu bakteryjnego w środowisku wewnętrznym pomieszczeń szkolnych wahał się od 7 do 27 162  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$  i był znacznie wyższy niż dla powietrza zewnętrznego, w którym aerozol bakteryjny występował w stężeniu od 176 do 7 434  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ . Jego najwyższe stężenia obserwowano w korytarzach badanych szkół (27 162  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ) oraz małych salach lekcyjnych (20 439  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ), jednakże różnice te nie były istotne statystycznie (test Kruskal'a-Wallis'a:  $p > 0,05$ ). Analiza danych wykazała, że wewnątrz sal lekcyjnych zmierzone stężenia aerozolu bakteryjnego wahały się od 70 do 20 439  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ , w salach gimnastycznych osiągnęły wartości od 678 do 14 113  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ , a w korytarzach szkolnych od 7 do 27 162  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$  (w obecności uczniów) (tabela 1). Porównując medianę

stężenia bakterii pomiędzy badanymi pomieszczeniami, najwyższe różnice obserwowano pomiędzy salami lekcyjnymi (mediana: 2 078 i 2 351 jtk·m<sup>-3</sup>) a korytarzami szkolnymi (mediana: 2 798 jtk·m<sup>-3</sup>), jednak nie stwierdzono statystycznie istotnego związku ( $p > 0,05$ ).

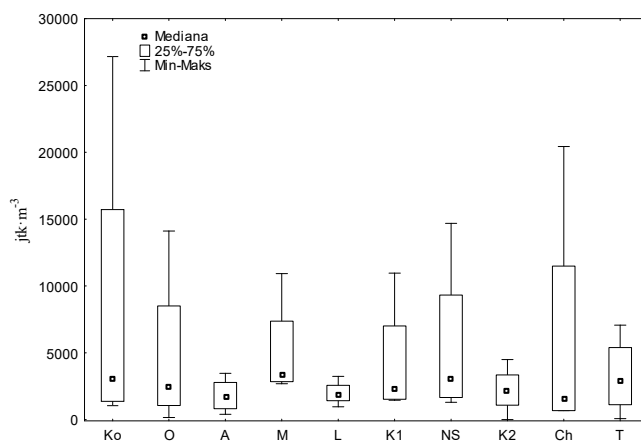
**Tabela 1.** Stężenia aerozolu bakteryjnego (jtk·m<sup>-3</sup>) wewnątrz wytypowanych pomieszczeń szkolnych i w środowisku zewnętrznym

**Table 1.** Concentrations of bacterial aerosol (cfu·m<sup>-3</sup>) inside selected school premises and in the external environment

Środowisko		Bakterie	
		Zakres	Mediana
Pomieszczenia szkolne	Sala lekcyjna – mała (A)	70-20 439	2 078
	Sala lekcyjna – duża (B)	168-14 679	2 351
	Sala gimnastyczna (C)	678-14 113	2 085
	Korytarz szkolny (D)	7-27 162	2 798
Tło zewnętrzne (Z)		176-7 434	494

Wyniki analiz wykazały brak statystycznie istotnych różnic w poziomach stężeń tych mikroorganizmów między poszczególnymi typami badanych pomieszczeń szkolnych (test Kruskal'a-Wallis'a:  $p > 0,05$ ). Analiza statystyczna danych nie wykazała także istotnych różnic między poszczególnymi szkołami ( $p > 0,05$ ). Porównanie stężeń bakterii w powietrzu tła zewnętrznego oraz pomieszczeń szkolnych wykazało natomiast znacząco wyższe wartości zmierzone wewnątrz badanych pomieszczeń szkolnych niż w powietrzu zewnętrznym (test Kruskal'a-Wallis'a:  $p < 0,05$ ). Większa liczba mikroorganizmów w badanych budynkach szkół może wynikać z tego, że w takich placówkach grupy uczniów liczą ponad 30 osób. Zaobserwowane relacje są też zgodne z obecnym stanem wiedzy na temat źródeł pochodzenia badanego bioaerozolu (Pegas i in. 2010). W pomieszczeniach zamkniętych o dużym zagęszczeniu ludzi stężenie bioaerozolu jest wielokrotnie większe niż w miejscach otwartych (Kubera i in. 2015). Stopień zanieczyszczenia powietrza mikroorganizmami zależy bowiem od zaludnienia, aktywności ludzi, intensywnej wymiany powietrza, pyłów, wilgotności względnej i temperatury powietrza (Mainka i in. 2015). Za największe i stałe aktywne źródła emisji aerozolu bakteryjnego w nieprzemysłowym środowisku

sku wewnątrz uważany jest człowiek. Należy podkreślić, że aktywność ludzka (w tym czynności fizjologiczne takie jak kichanie, kaszel, a także wysiłek fizyczny) jest głównym źródłem wytwarzania bioaerozolu w środowisku wewnątrz (Gąska-Jędruch i Dudzińska 2009, Grzyb in. 2004, Gołofit-Szymczak i in. 2015).



**Rys. 1.** Stężenia aerozolu bakteryjnego ( $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ) wewnątrz budynków szkolnych

**Fig. 1.** Concentrations of bacterial aerosol ( $\text{cfu}\cdot\text{m}^{-3}$ ) inside school buildings

Wyniki dotyczące pomiarów parametrów mikroklimatycznych przedstawione w tabeli 2 wykazały bardzo dużą stabilność warunków termicznych. Wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza w badanych pomieszczeniach szkolnych zmieniały się w zakresie i wynosiły odpowiednio: w pomieszczeniach szkolnych;  $18,2\text{-}27,0^{\circ}\text{C}$  i  $32,0\text{-}65,0\%$ , natomiast w środowisku zewnętrznym;  $2,8\text{-}14,1^{\circ}\text{C}$  i  $40,7\text{-}80,4\%$ . Analiza korelacji Spearman'a między stężeniami aerozolu bakteryjnego w badanych pomieszczeniach szkolnych, a wartościami parametrów mikroklimatycznych powietrza wykazała, że czynniki te nie wpływały znacząco na poziom obserwowanych stężeń bakterii. Podobne zależności odnotowała Ejdys (2009) oceniając sezonowy wpływ powietrza atmosferycznego na zanieczyszczenie powietrza budynków szkolnych zarodnikami grzybów w warunkach miejskich oraz Gołofit-Szymczak i in. (2015), badając aerozole bakteryjne i grzybowe w środowisku pracy firm sprzątających.

**Tabela 2.** Temperatura (°C) i wilgotność względna powietrza (%) wewnątrz pomieszczeń szkolnych i w środowisku zewnętrznym  
**Table 2.** Temperature (°C) and relative humidity of air (%) inside school premises and in the external environment

Środowisko	Temperatura (°C)		Wilgotność względna (%)		
	Zakres	Mediana	Zakres	Mediana	
Pomieszczenia szkolne	Sala lekcyjna – mała (A)	19,8-27,0	23,0	33,0-58,9	49,0
	Sala lekcyjna – duża (B)	21,0-25,0	21,7	42,9-65,0	49,7
	Sala gimnastyczna (C)	18,2-23,1	21,3	32,0-61,1	49,3
	Korytarz szkolny (D)	19,6-26,0	20,9	36,0-60,2	44,7
Tło zewnętrzne (Z)	2,8-14,1	9,3	40,7-80,4	68,5	

Na każdym wyznaczonym stanowisku pomiarowym podczas prowadzonych badań dotyczących aerozolu bakteryjnego były równocześnie wykonywane także pomiary dotyczące pyłu ogólnego (tab. 3). Są to czynniki, które współdziałając ze sobą w różny sposób, wywierają znaczny wpływ na liczbę mikroorganizmów obecnych w powietrzu (Jurado i in. 2014, Ramachandran i in. 2002). Szczegółowe dane dotyczące zapylenia przedstawiono w tabeli 3. Mediana stężenia pyłu całkowitego wewnątrz budynku szkół, wahała się od 0,11 do 0,14 mg/m<sup>3</sup> i była generalnie niższa niż na zewnątrz (0,15 mg/m<sup>3</sup>). Uzyskane wyniki w niniejszej pracy, są niższe od zalecanych wartości pyłów dla najwyższych stężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Augustyńska i Pośniak 2016). Oceniając wpływ stężenia pyłu całkowitego oraz frakcji respirabilnej na mierzone stężenia aerozolu bakteryjnego w badanych pomieszczeniach szkolnych, w oparciu o obliczony współczynnik korelacji Spearman'a można stwierdzić, że nie miały one istotnego statystycznie wpływu na obserwowane stężenia bakterii. Przedstawione relacje są inne niż zaobserwowane w środowisku wewnątrz szkolnych (Fsadni i in. 2017, Sheik i in. 2015).

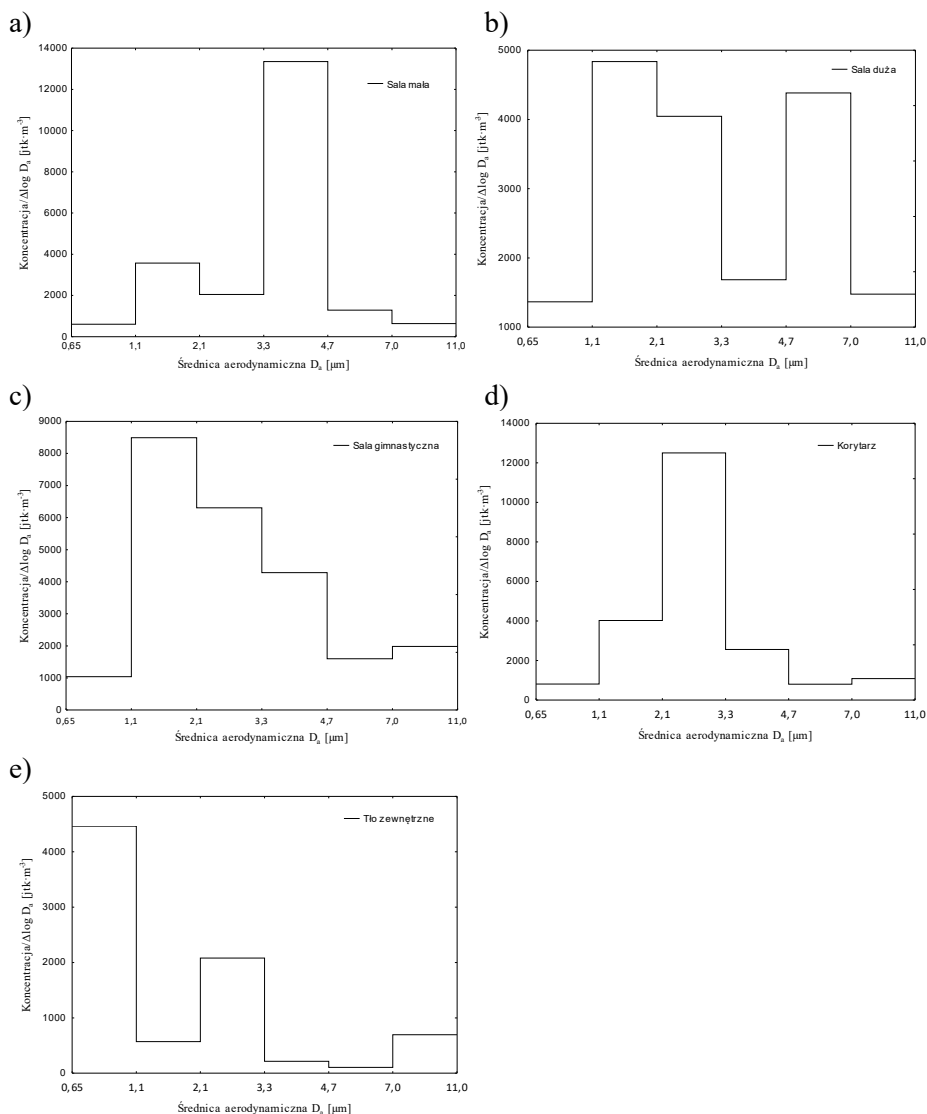
Należy podkreślić, że cząstki aerozoli zdeponowane w obszarze tchawiczo-oskrzelowym mogą się przyczyniać do rozwoju nieżytów oskrzeli, a cząstki aerozoli zdeponowane w obszarze wymiany gazowej mogą powodować rozedmę płuc i pylice płuc. Wiadomo, że stężenie frakcji respirabilnej przyjmuje się za adekwatny wskaźnik zagrożenia zdrowia (Augustyńska i Pośniak 2016, Więcek 2011).

**Tabela 3.** Stężenia pyłu ogólnego w powietrzu ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) wewnątrz pomieszczeń szkolnych i w środowisku zewnętrznym

**Table 3.** Total concentrations of particulate matter in the air ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) inside the school premises and in the external environment

Środowisko	Fracja całkowita		Fracja respirabilna		
	Zakres	Mediana	Zakres	Mediana	
Pomieszczenia szkolne	Sala lekcyjna - mała (A)	0,07-0,25	0,11	0,06-0,17	0,10
	Sala lekcyjna - duża (B)	0,06-0,20	0,11	0,06-0,19	0,10
	Sala gimnastyczna (C)	0,08-0,41	0,14	0,06-0,24	0,12
	Korytarz szkolny (D)	0,06-0,39	0,14	0,06-0,32	0,13
Tło zewnętrzne (Z)		0,05-0,60	0,15	0,05-0,46	0,15

Interpretacja ilościowa wyników pomiarów bioaerozoli w środowisku badanych pomieszczeń szkolnych jest utrudniona z uwagi na brak zarówno w Polsce jak i na świecie powszechnie uznanych wartości normatywnych, które określałyby dopuszczalne stężenia drobnoustrojów w tych środowiskach. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy są trudności metodyczne wynikające z różnorodności mikroorganizmów, brak standaryzacji metod pomiarowych i doświadczalnych oraz trudności w określeniu efektów działania bioaerozoli na narażone populacje (Dutkiewicz i Górny 2002, Górny 2010). W naszym kraju nie obowiązują już także dwie Polskie Normy dotyczące stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego bakteriami (PN-Z-04111-02:1989) i grzybami (PN-Z-04111-03:1989). Oba te akty prawne nie są już zgodne ze współczesnym stanem wiedzy, albowiem błędnie dopuszczały w ocenie ilościowej bioaerozoli stosowanie przestarzałej metody sedymentacyjnej, niedającej wiarygodnych wyników. W związku z tym oceny higienicznej badanego środowiska dokonano na podstawie zalecanych wartości dopuszczalnych stężeń najpowszechniejszych kategorii mikroorganizmów w środowisku wewnątrz, tj. pomieszczeń mieszkalnych i użyteczności publicznej oraz w środowisku zewnętrznym, ( $5\cdot 10^3$  jtk $\cdot\text{m}^{-3}$  dla bakterii) wyznaczonych przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy (Augustyńska i Pośniak 2016, Górny 2010).



**Rys. 2.** Rozkłady ziarnowe aerozolu bakteryjnego (wartości średnie) w powietrzu zewnętrznym oraz w środowisku wewnątrz pomieszczeń szkolnych: (a) sala lekcyjna – mała (A), (b) sala lekcyjna – duża (B), (c) sala gimnastyczna (C), (d) korytarz szkolny (D), (e) tło zewnętrzne (Z)

**Fig. 2.** Bacterial aerosol particle size distribution (mean values) in outdoor air and indoor environment of school premises: (a) classroom – small (A), (b) classroom – big (B), (c) gym (C), (d) school corridor (D), (e) outdoor air (Z)



Porównanie uzyskanych wartości stężeń aerozolu bakteryjnego z zalecanymi wartościami progowymi pozwala stwierdzić, że koncentracja bakterii występujących w powietrzu wszystkich badanych pomieszczeń szkolnych oraz w środowisku zewnętrznym przekraczała wartości dopuszczalne. Może to wskazywać na dodatkową emisję bakterii z osób obecnych w trakcie badań, gdyż człowiek jest ich głównym rezerwuarem. Przyczyny tego można również upatrywać we wzroście szczelności budynku (pozamykane drzwi i okna w czasie lekcji), przez co niemożliwa była ciągła wymiana powietrza, która zapewniałaby usuwanie zanieczyszczeń powstających wskutek wewnętrznej emisji mikroorganizmów (Gołofit-Szymczak i in. 2015).

Z danych literatury przedmiotu wynika, że ważnym parametrem służącym do oceny skutków oddziaływania aerozoli biologicznych na organizm człowieka jest określenie średnicy aerodynamicznej ich cząstek, gdyż ta cecha determinuje ich zachowanie oraz dynamikę w powietrzu, co decyduje o miejscu ich depozycji w określonej przestrzeni lub na powierzchni (Harrison i in. 2004, Górny 2004, Byeon i in. 2008). Uzyskane dane o rozkładzie ziarnowym aerozolu bakteryjnego w badanych pomieszczeniach szkolnych oraz w środowisku zewnętrznym przedstawiono na rysunku 2a-e. Na podstawie analizy przebiegu krzywej rozkładu ziarnowego aerozolu bakteryjnego dla powietrza zewnętrznego stwierdzono, że bakterie występowały najczęściej w środowisku zewnętrznym jako małe pojedyncze komórki (0,65-1,1  $\mu\text{m}$ ) lub formowały małe agregaty bakteryjne (2,1-3,3  $\mu\text{m}$ ). Analiza rozkładów ziarnowych aerozolu bakteryjnego występującego w powietrzu pomieszczeń szkolnych wykazała, że w powietrzu małej sali lekcyjnej bakterie najczęściej tworzyły małe agregaty bakteryjne lub bakteryjno-pyłowe (3,3-4,7  $\mu\text{m}$ ), natomiast w powietrzu dużej sali lekcyjnej były one głównie obecne w postaci pojedynczych komórek i małych agregatów bakteryjnych w zakresie średnic 1,1-3,3  $\mu\text{m}$  oraz w formie dużych agregatów bakteryjnych lub bakteryjno-pyłowych (4,7-7,0  $\mu\text{m}$ ), co prawdopodobnie było związane z połączeniem komórek bakteryjnych z wtórnie unoszonymi cząsteczkami pyłu (Mainka i in. 2015, Wlazło 2008). Z analizy przebiegu krzywej rozkładu dla sali gimnastycznej wynika, że aerozol bakteryjny osiągał tu swoje maksymalne stężenia w zakresie cząstek 1,1-2,1  $\mu\text{m}$ , co wskazuje iż dominowały tu pojedyncze komórki bakteryjne, natomiast w przypadku korytarza szkolnego bakterie tworzyły aerozol złożony

głównie z małych agregatów bakteryjnych (2,1-3,3  $\mu\text{m}$ ). Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych danych o rozkładach ziarnowych cząstek można stwierdzić, że w pomieszczeniach szkolnych w przypadku bioaerozolu złożonego z bakterii największy ich „ładunek” o powyżej opisanych rozmiarach może w układzie oddechowym człowieka (ucznia/nauczyciela) dotrzeć do regionu tchawicy po oskrzela końcowe oraz do oskrzelików płucnych (Górny 2004). Informacja ta ma szczególne znaczenie dla oceny skutków oddziaływania aerozoli biologicznych na organizm człowieka, gdyż pozwala prognozować potencjalny niekorzystny efekt zdrowotny wywołany tego typu ekspozycją (Clauß 2015, Górny 2004).

#### 4. Podsumowanie i wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały, że zakres stężenia aerozolu bakteryjnego w środowisku wewnętrznym pomieszczeń szkolnych wahał się od 7 do 27 162  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$  i od 176 do 7 434  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$  dla powietrza zewnętrznego.
2. Wyniki przeprowadzonych analiz wskazują, że bez względu na badane środowisko, stężenia aerozolu bakteryjnego zarówno wewnątrz (w pomieszczeniach szkolnych), jak i na zewnątrz były wysokie i przekraczały dopuszczalne wartości dla tego typu wnętrz, wskazując na możliwość występowania dodatkowego źródła zanieczyszczenia.
3. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że parametry mikroklimatyczne, tj. temperatura i wilgotność względna powietrza oraz zapylenie nie wpływały istotnie na wielkości stężeń aerozolu bakteryjnego zaobserwowane w badanych pomieszczeniach szkolnych.
4. Uzyskane wyniki wskazują, że jakość bakteriologiczna powietrza badanych wnętrz uzależniona była od obecności uczniów oraz ich aktywności co sugeruje, że naturalna wentylacja w tym typie pomieszczeń nie wystarcza w celu zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza. W związku z tym należy wyposażyć budynki szkolne w sprawnie działający wydajny system wentylacji lub klimatyzacji, w celu zapewnienia „czystego” powietrza w pomieszczeniach szkolnych, w których przebywają uczniowie.

## Literatura

- Augustyńska, D., Pośniak, M. (red.). (2016). *Czynniki szkodliwe w środowisku pracy-wartości dopuszczalne*. Warszawa: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.
- Byeon, J. H., Park, Ch. W., Yoon, K. Y., Park, J. H., Hwang, J. (2008). Size distributions of total airborne particles and bioaerosols in a municipal composting facility. *Bioresource Technology*, 99(11), 5150-5154.
- Clauß, M. (2015). Particle size distribution of airborne microorganisms in the environment – a review. *Landbauforsch Appl Agric Forestry Res*. DOI: 10.3220/LBF1444216736000
- Dutkiewicz, J., Górny, R.L. (2002). Biologiczne czynniki szkodliwe dla zdrowia – klasyfikacja i kryteria oceny narażenia. *Medycyna Pracy*, 53(1), 29-39.
- Ejdys, E. (2009). Wpływ powietrza atmosferycznego na jakość bioaerozolu pomieszczeń szkolnych w okresie wiosennym i jesiennym – ocena mikrobiologiczna. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 41, 142-150.
- Fsadni, P., Frank, B., Fsadni, C., Montefort, S. (2017). The Impact of Microbiological Pollutants on School Indoor Air Quality. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5, 54-65.
- Gąska-Jędruch, U., & Dudzińska, M. R. (2009). *Zanieczyszczenia mikrobiologiczne w powietrzu wewnętrznym. Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*. Pr. zbior. Red. J. Ozonek, A. Pawłowski. T. 2. Lublin. PAN, 31-40.
- 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.
- Górny, R.L. (2004). Cząstki grzybów i bakterii jako składniki pomieszczeń: właściwości, mechanizmy emisji, detekcja. *IMPiZŚ. Sosnowiec*.
- Górny, R.L. (2010). Normatywy higieniczne dla szkodliwych czynników mikrobiologicznych w ochronie powietrza wewnętrznego. *Instal*, 4, 38-45.
- Grzyb, J., Bis, H., Barabas, W., Fraczek, K., Chmiel, M. (2004). Badania nad występowaniem bakterii w powietrzu komór sanatoryjnych w kopalniach soli w Bochni i Wieliczce. *Acta Agr. et Silv., Ser. Agr., XLII*, 163-175.
- Harrison, R.M., Jones, A.M., Lawrence, R.G. (2004). Major component composition of PM10 and PM2.5 from roadside and urban background sites. *Atmos. Environ.*, 38, 4531-4538.
- Jensen, P.A., Schafer, M.P. (1998). *Sampling and characterization of bioaerosols*. Atlanta: National Institute for Occupational Safety and Health.
- Jurado, S. R., Bankoff, A. D. P., Sanchez, A. (2014). Indoor Air Quality In Brazilian Universities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 1, 7081-7093.

- Korta-Peplowska, M., Chmiel, M. J., Frączek, K. (2016). Zagrożenia mikrobiologiczne w środowisku pomieszczeń. *Medycyna Środowiskowa*, 19(2), 48-54.
- Kubera, Ł., Studzińska, J., Dokładna, W., Małecka-Adamowicz, M., Donderski, W. (2015). Mikrobiologiczna jakość powietrza w wybranych przedszkolach oraz antybiotykooporność bakterii z rodzaju *Staphylococcus* spp. *Medycyna Pracy*, 66(1), 49-56.
- Mainka, A., Zajusz-Zubek, E., Kozielska, B., Brągoszewska, E. (2015). Badanie zanieczyszczeń powietrza oddziałujących na dzieci w przedszkolu miejskim zlokalizowanym przy drodze o dużym natężeniu ruchu. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 18(1), 119-133.
- Pegas, P. N., Evtuyugina, M. G., Alves, C. A., Nunes, T., Cerqueira, M., Pio, M. F., Freitas, M. C. (2010). Outdoor/indoor air quality in primary schools in lisbon: a preliminary study. *Quim. Nova*, 33(5), 1145-1149.
- Ramachandran, G., Adgate, J. L., Church, T. R., Jones, D., Fischer, G., Fredrickson, A., Sexton, K. (2002). Indoor air quality in two urban elementary schools: comfort parameters and microbial concentrations in air and carpets. *Proceedings: Indoor Air*, 461-466.
- Sheik, G. B., Rheam, A. I., Shehri, Z. S., Otaibi, O. B. M. (2015). Assessment of Bacteria and Fungi in air from College of Applied Medical Sciences (Male) at AD-Dawadmi, Saudi Arabia. *International Research Journal of Biological Sciences*, 4(9), 49-53.
- Więcek, E. 2011. Kryteria zdrowotne pobierania próbek aerozoli w środowisku pracy. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy*, 2(68), 5-21.
- Wlazło, A, Górny, RL, Złotowska, R, Ławniczek, A, Łudzień-Izbińska, B, Harkawy, AS, Anczyk, E. (2008). Narażenie pracowników na wybrane szkodliwe czynniki biologiczne w bibliotekach województwa śląskiego. *Medycyna Pracy*, 59, 159-170.

## **Bacterial Aerosol at Selected Rooms of School Buildings of Malopolska Province**

### **Abstract**

The quality of the air of the internal and external environment has always been of particular interest to man. In recent years more and more attention has been paid to the study of bioaerosol in didactic buildings, especially such as kindergartens and schools, because students and teachers staying at school for several hours can not be exposed to conditions harmful to their health. It should be emphasized that in schools where there are no ventilation systems and ventilation is primarily a method of airing, the concentration of microbiological fac-

tors and dusts are largely determined by the concentration of these pollutants contained in atmospheric air. The aim of the study was to perform a quantitative analysis of bacterial aerosol and to determine the particle size distribution in the premises of school buildings located in southern Poland. The research was conducted in ten schools located in different cities of the Malopolska province. Measurements of bacterial aerosol were made by using Andersen's 6-stage impactor, during school hours, in 4 naturally ventilated school rooms (small classroom, large classroom, gym, corridor) and outside. The capture surface were a standard Petri dishes, filled with Tryptic Soy Agar (TSA), for the determination of bacteria. Particular matter measurements were made with the DustTrak II sampler (model 8530, TSI Inc., Shoreview, MN, USA) and microclimate parameters – temperature and relative humidity were measured using the Kestrel 4000 Anemometer (Nielsen-Kellerman, USA). Studies have shown that the concentration of bacterial aerosol in the indoor environment of school premises ranged from 7 to 27 162 cfu·m<sup>-3</sup> and was significantly higher than bacterial concentrations in outdoor air, where the concentration of bacteria ranged from 176 to 7 434 cfu·m<sup>-3</sup>. The highest concentration of bacterial aerosol was observed in the school corridor (27 163 cfu·m<sup>-3</sup>) and the small classroom (20 439 cfu·m<sup>-3</sup>). However, these differences were not statistically significant. Comparing the median of concentration of bacteria between the examined rooms, the highest differences were observed between the classrooms (median: 2 078 and 2 351 cfu·m<sup>-3</sup>) and the school corridor (median: 2 798 cfu·m<sup>-3</sup>), however, there was no statistically significant association ( $p < 0.05$ ).

Regardless of the tested environment, bacterial aerosol concentrations inside and outside the classroom were high and exceeded the proposal limit values for this type of interiors. As a result, it should think the equipping school buildings with a functioning, efficient ventilation or air conditioning system to provide "clean" air in school premises where teachers and students are present.

## **Streszczenie**

Jakość powietrza środowisk wewnętrznych i zewnętrznych była zawsze przedmiotem szczególnego zainteresowania człowieka. W ostatnich latach coraz częściej zwraca się uwagę na badanie bioaerozolu w budynkach dydaktycznych, zwłaszcza, takich jak przedszkola i szkoły, ponieważ uczniowie i nauczyciele przebywając po kilka godzin w szkole nie mogą być narażeni na warunki szkodliwe dla ich zdrowia. Należy podkreślić, że w pomieszczeniach szkolnych, w których brak jest systemów wentylacyjnych i wentylacja odbywa się przede wszystkim metodą przewietrzania, stężenia czynników mikrobiologicznych oraz pyłów drobnych w znacznym stopniu zależą od stężeń tych zanieczyszczeń zawartych w powietrzu atmosferycznym.

Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie ilościowej analizy aerozolu bakteryjnego oraz wyznaczenia jego rozkładu ziarnowego w pomieszczeniach budynków szkolnych, położonych w południowej Polsce. Badania przeprowadzono w dziesięciu szkołach zlokalizowanych na terenie różnych miast województwa małopolskiego. Pomiarów aerozolu bakteryjnego dokonywano przy użyciu 6-stopniowego impaktora Andersena w czasie trwania zajęć lekcyjnych, w 4 naturalnie przewietrzanych pomieszczeniach szkolnych (sala lekcyjna mała, sala lekcyjna duża, sala gimnastyczna, korytarz) oraz na zewnątrz. Powierzchnię wychwytu stanowiły standardowe płytki Petriego, wypełnione agarom tryptozowo-sojowym (TSA), do oznaczania bakterii. W trakcie poboru próbek wykonywano także pomiary zapylenia przy użyciu pyłomierza DustTrak II (model 8530, TSI Inc., Shoreview, MN, USA) oraz parametrów mikroklimatycznych tj. temperatury i wilgotności względnej przy użyciu anemometru Kestrel 4000 (Nielsen-Kellerman, USA). Przeprowadzone badania wykazały, że zakres stężenia aerozolu bakteryjnego w środowisku wewnętrznym pomieszczeń szkolnych wahał się na poziomie od 7 do 27 162 jtk·m<sup>-3</sup> i był znacznie wyższy niż dla powietrza zewnętrznego, w którym stężenie bakterii występowało w stężeniu od 176 do 7 434 jtk·m<sup>-3</sup>. Najwyższe stężenia aerozolu bakteryjnego obserwowano w korytarzu szkoły (27 162 jtk·m<sup>-3</sup>) oraz małej sali lekcyjnej (20 439 jtk·m<sup>-3</sup>), jednakże różnice te nie były istotne statystycznie. Porównując medianę stężenia bakterii pomiędzy badanymi pomieszczeniami, najwyższe różnice obserwowano między salami lekcyjnymi (mediana: 2 078 i 2 351 jtk·m<sup>-3</sup>) a korytarzem szkolnym (mediana: 2 798 jtk·m<sup>-3</sup>), jednak nie stwierdzono statystycznie istotnego związku ( $p < 0.05$ ). Bez względu na badane środowisko, stężenia aerozolu bakteryjnego zarówno wewnątrz (w pomieszczeniach szkolnych) jak i na zewnątrz były wysokie i przekraczały proponowane wartości dopuszczalne dla tego typu wnętrz. Skutkiem tego, należałoby się zastanowić nad obligatoryjnym wyposażeniem budynków szkolnych w sprawnie działający, wydajny system wentylacji lub klimatyzacji w celu zapewnienia „czystego” powietrza w pomieszczeniach szkolnych, w których przebywają nauczyciele i uczniowie.

**Słowa kluczowe:**

szkoły, aerozol bakteryjny, powietrze

**Keywords:**

schools, bacterial aerosol, air