



DOI: <https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2023.005>

ANALIZA MIKROBIOLOGICZNA POWIETRZA KLATEK SCHODOWYCH W BLOKACH MIESZKALNYCH

Katarzyna WOLNY-KOŁADKA¹, Kaja SOBOCIŃSKA¹

MICROBIOLOGICAL AIR ANALYSIS OF THE INDOOR STAIRCASES IN HOUSING APARTMENTS

Streszczenie

Celem badań była ocena jakości mikrobiologicznej powietrza trzech klatek schodowych w blokach mieszkalnych wielorodzinnych. Badano wpływ pory roku i temperatury na liczebność oraz bioróżnorodność mikroorganizmów w bioareozolu klatek schodowych. Wszystkie badania zostały wykonane za pomocą aeroskopu MAS-100 (Merck), metodą uderzeniową. Stwierdzono przekraczające normy stężenia promieniowców oraz gronkowców w powietrzu atmosferycznym oraz powietrzu wybranych klatek schodowych. Pora roku oraz temperatura powietrza mają wpływ na stężenie mikroorganizmów w powietrzu. Wiek budynku, dostępność światła oraz system wentylacji mogą mieć również wpływ na stężenie wskaźników czystości mikrobiologicznej powietrza.

Słowa kluczowe: mikroorganizmy, bioareozol, zanieczyszczenie powietrza, pomieszczenia zamknięte

¹ *Katedra Mikrobiologii i Biomonitoringu, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*
e-mail: katarzyna.wolny@urk.edu.pl

Abstract

The aim of the study was to assess the microbiological air quality in three staircases of multifamily residential buildings. The study examined influence of season and air temperature on the abundance and biodiversity of microorganisms in the bioaerosol of stairwells. All studies were conducted using an impact method with the MAS-100 aerosol sampler (Merck). Concentrations of actinomycetes and staphylococci in both atmospheric air and selected stairwells exceeded norms. Season and air temperature have an impact on microbial concentrations in the air. The age of the building, light availability and ventilation conditions were also identified as potential factors influencing the concentration of specific microbial groups in the bioaerosol.

Keywords: microorganisms, bioaerosol, air pollution, indoor compartments

WSTĘP

Bakterie, grzyby oraz wirusy stanowią około 5-34% całkowitego zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniach zamkniętych (Awad i in. 2017; Hassan i in. 2021). Bioareozol jest typem aerozolu, który zawiera złożone kompleksy cząsteczek biologicznych. W jego skład wchodzi zarodniki grzybów, pierwotniaki, algi, bakterie oraz wirusy. Oprócz cząsteczek biologicznych, w skład bioareozolu wchodzi również inne zanieczyszczenia np. kurz (Maus i in. 2001; Gąska-Jędruch i Dudzińska 2009). Badania kurzu znajdującego się w powietrzu, przeprowadzone w budynkach wielorodzinnych, podczas sezonu grzewczego wykazały, że najczęściej występującymi typami alg są jednokomórkowe zielone algi (*Chlorella*, *Chlorococcum*) oraz cyjanobakterie nitkowate (*Anabaena* oraz *Schizothrix*). Do organizmów znajdujących się w powietrzu pomieszczeń zamkniętych można również zaliczyć pierwotniaki. Organizmy te dostają się do powietrza w skutek wymuszonego napowietrzania środowisk wodnych np. w wyniku dyspersji kropelek wody przez nawilżacze powietrza. Najczęściej występującymi pierwotniakami w powietrzu pomieszczeń zamkniętych są: *Hartmanella*, *Echinamoeba* i *Naegleria* (Flannigan 2011). W powietrzu pomieszczeń zamkniętych występują również grzyby. Dostają się one do powietrza poprzez m.in. klimatyzację, systemy grzewcze oraz otwarte okna. Do najczęściej identyfikowanych rodzajów należą *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium* oraz *Fusarium* (Garcia-Solache i Casadevall 2010). W przypadku bakterii, najczęściej z powietrza izolowane są bakterie należące do rodziny *Micrococcaceae*. Wśród tych Gram-dodatnich bakterii można wyróżnić *Staphylococcus epidermidis* oraz *Staphylococcus aureus*, które naturalnie bytują na skórze człowieka. Wśród bakterii Gram-ujemnych najczęściej występujących w powietrzu można wyróżnić: *Acinetobacter* sp., *Achromobacter*

spp. oraz *Pseudomonas* spp. (Flannigan 2011; Rai i in. 2021). Koncentracja zanieczyszczeń, w tym mikroorganizmów w powietrzu wewnętrznym jest często dwa do pięciu razy większa niż w powietrzu zewnętrznym (Awad i in. 2017; Rai i in. 2021). Do czynników wpływających na strukturę oraz różnorodność społeczności mikroorganizmów w budynkach mieszkalnych zalicza się m.in. architekturę budynku, systemy wentylacyjne, temperaturę oraz wilgotność. Dodatkowo, kluczową rolę odgrywają również czynniki antropogeniczne takie jak aktywność człowieka oraz obecność zwierząt (Gąska-Jędruch i Dudzińska 2009; Rai i in. 2021).

Polska należy do państw, w których występuje jedno z największych zanieczyszczeń powietrza w całej Unii Europejskiej (Zyśk i in. 2020). Ekspozycja na długotrwałe zanieczyszczenia, może prowadzić do występowania poważnych skutków zdrowotnych. Największe zagrożenie stwarzają bioaerozole, które wnikają do organizmu poprzez błony śluzowe oraz skórę. Dlatego tak ważna jest ciągła kontrola jakości powietrza oraz ustalanie norm pozwalających za zapobieganie nadmiernemu zanieczyszczeniu atmosfery (Górny 2004). Do tej pory w Polsce nie opracowano ujednoczonych norm dotyczących dozwolonej zawartości mikroorganizmów w powietrzu pomieszczeń zamkniętych. Kontrola jakości powietrza nie jest w żaden sposób uregulowana prawnie. W 1989 roku zaproponowano ogólne normy, które zostały później uchylone. Należą do nich: PN-89/Z-04008/01, PN-89/Z04008/08, PN-89/Z-04111/02, PN-89/Z-04111/03. Obecnie, normy te wykorzystuje się do interpretacji wyników uzyskanych z badań nad oceną mikrobiologicznej jakości powietrza. Ze względu na fakt, że drobnoustroje obecne w powietrzu mają istotny wpływ na zdrowie człowieka, proponuje się nowe wartości dopuszczalnego stężenia szkodliwych czynników biologicznych w pomieszczeniach zamkniętych (Górny 2010; Gołofit-Szymczak i in. 2013).

METODYKA

Powietrze zostało pobrane z czterech różnych lokalizacji na terenie Krakowa: klatek schodowych trzech budynków mieszkalnych oraz parku (próba kontrolna). Lokalizacje wybrane do badań oraz ich charakterystyka zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka poszczególnych lokalizacji wybranych do badań
Table 1. Characteristics of individual locations selected for research.

Charakterystyka lokalizacji / Location characteristics	Lokalizacja / Location			
	1.	2.	3.	4.
	Osiedle Szklane Domy / Housing Estate Szklane Domy	Osiedle Urocze / Housing Estate Urocze	Osiedle Oświecenia / Housing Estate Oświecenia	Park Ratuszowy / Ratuszowy Park
Typ budynku / Building type	blok wielorodzinny / multi-family residential building	blok wielorodzinny / multi-family residential building	blok wielorodzinny / multi-family residential building	-
Rok budowy / Year of construction	2015	ok. 1950	2006	-
Liczba pięter / Floors number	4	6	10	-
Liczba mieszkań na piętrze / Number of apartments per floor	5	6	15	-

Badania wykonano w następujących miesiącach: pobór pierwszy – 01.09.2022 r., pobór drugi – 22.02.2023 r. oraz pobór trzeci – 22.03.2023 r. Pobory powietrza wykonywano w trzech powtórzeniach, metodą uderzeniową za pomocą aeroskopu: MAS-100 (Merck). W czasie 1 min urządzenie pobierało 0,1 m³ powietrza i wciągało je na wybraną pożywkę (Agar TSA, Chapman Lab-Agar, Agar Pochona, agar MEA, BLT Polska). Kluczowym aspektem poboru było umieszczenie Impaktora na wysokości strefy respiracyjnej człowieka, czyli na wysokości około 1,6 m. Dodatkowo, w każdym miejscu poboru zmierzono temperaturę powietrza, za pomocą termometru Biowin. Po zakończeniu poboru szalki przetransportowano do Katedry Mikrobiologii i Biomonitoringu Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Próbkę umieszczono w ciepłarkach i poddano inkubacji. Promienowce oraz grzyby inkubowano w 28°C przez 5 dni, natomiast bakterie w 37° C przez 48h. Po zakończeniu inkubacji drobnoustroje zliczono, a wyniki podano jako liczbę jednostek tworzących kolonię na metr sześcienny powietrza (jtk·m⁻³). Uzyskane wyniki porównywano z obecnie stosowanymi w Polsce normami: PN-89/Z04111/02 (tab. 2) oraz PN-89/Z-04111/03 (tab. 3).

Tabela 2. Ocena stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego (PN-89/Z-04111/02)

Table 2. Assessment of the level of atmospheric air pollution (PN-89/Z-04111/02).

Ogólna liczba bakterii [jtk·m ⁻³] / Total bacteria count [CFU·m ⁻³]	Ogólna liczba promieniowców [jtk·m ⁻³] / Total actinomycetes count [CFU·m ⁻³]	Stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego / Atmospheric air pollution level
< 1000	< 10	Niezanieczyszczone / Unpolluted
1000-3000	10-100	Średnio zanieczyszczone / Moderately polluted
> 3000	> 100	Silnie zanieczyszczone / Heavily polluted

*jtk·m⁻³ – jednostka tworząca kolonię w 1 m³ powietrza
CFU·m⁻³ – colony forming units per 1 m³ of air*

Tabela 3. Ocena stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego (PN-89/Z-04111/03)

Table 3. Assessment of the level of atmospheric air pollution (PN-89/Z-04111/03).

Ogólna liczba grzybów [jtk·m ⁻³] / Total fungi count [CFU·m ⁻³]	Stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego / Atmospheric air pollution level
3000-5000	Przeciętnie czyste powietrze atmosferyczne / Moderately clean atmospheric air
5000-10 000	Zanieczyszczenie mogące negatywnie oddziaływać na środowisko naturalne człowieka / Pollution that can have a negative impact on human natural environment
> 10 000	Zanieczyszczenie zagrażające środowisku naturalnemu człowieka / Pollution endangering human natural environment

*jtk·m⁻³ – jednostka tworząca kolonię w 1 m³ powietrza
CFU·m⁻³ – colony forming units per 1 m³ of air*

Analizę statystyczną wykonano w programie Statistica 13.3 używając testu Shapiro-Wilka oraz współczynnika korelacji rang Spearmana. Test Shapiro-Wilka użyto w celu oceny rozkładu normalnego w porównywanych grupach pomiarowych. Współczynnik korelacji rang Spearmana został wykorzystany w celu zbadania monotonicznej zależności między zmiennymi. Współczynnik ten przyjmuje wartości w przedziale domkniętym [-1;1], gdzie wartości graniczne -1 i 1 oznaczają bardzo wysoką korelację między

dzy zmiennymi, natomiast wartość 0 wyraża brak związku. Wartość bezwzględną współczynnika r interpretowano na podstawie poniższych danych: 0-0,3 – bardzo słaba lub brak korelacji, 0,3-0,5 – korelacja w stopniu umiarkowanym, 0,5-0,7 – korelacja silna, 0,7-1,0 – korelacja bardzo silna. Poziom istotności ustalono na $p < 0,05$ dla korelacji Spearmana.

WYNIKI

Analiza liczebności mikrobiologicznych wskaźników jakości powietrza

Wyniki liczebności poszczególnych grup mikroorganizmów zawartych w bioar-eozolu badanych klatek schodowych zostały przedstawione w tabelach 4, 6, 8 i 10.

Tabela 4. Liczebność bakterii [$\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$]
Table 4. Bacterial count [expressed in $\text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$].

Lokalizacja poboru próbek/ Sampling location	Termin poboru / Sampling date		
	01.09.2022	22.02.2023	22.03.2023
1.	90	50	80
2.	180	70	620
3.	450	1620*	520
4.	340	450	470

**przekroczone wartości graniczne*
** exceeded threshold values*

W tabeli 5 umieszczono maksymalne wartości dopuszczalnych stężeń bakterii w powietrzu pomieszczeń zamkniętych opracowane przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych (Górny 2010, Gołofit-Szymczak i in. 2013). W tabeli 2 znajdują się maksymalne wartości ogólnej liczby baterii opisujące stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, do których również odnoszono się podczas interpretacji wyników.

Tabela 5. Dopuszczalne stężenie całkowite i respirabilne bakterii w powietrzu pomieszczeń zamkniętych

Table 5. Permissible total and respirable bacterial concentrations in indoor air.

Czynnik mikrobiologiczny / Microbiological factor	Dopuszczalne stężenie w pomieszczeniach mieszkalnych i użyteczności publicznej / Permissible concentration in residential and public utility premises	
	Całkowita / Total	Respirabilna / Respirable
Bakterie / Bacteria	$5,0 \times 10^3 \text{ jtk}\cdot\text{m}^{-3} / \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$	$2,5 \times 10^3 \text{ jtk}\cdot\text{m}^{-3} / \text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$

Źródło / Source: [Górny 2010, Gołofit-Szymczak i in. 2013, PN-89/Z-04111/02]

Na podstawie uzyskanych wyników umieszczonych w tabeli 4 można stwierdzić, że największa liczebność bakterii w powietrzu występowała w lokalizacji numer 3 w lutym. Próbkę pobierano w okresie grzewczym na klatce schodowej na piętrze czwartym, które charakteryzowało się niedużym dostępem światła oraz stosunkowo wysoką temperaturą (tab. 12). Odnosząc się do Tabeli 5, w żadnej z czterech lokalizacji (1,2,3 oraz 4) normy nie zostały przekroczone. Natomiast odnosząc się do tabeli 2, w lutym w lokalizacji numer 3 dopuszczalna norma stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego została przekroczona, klasyfikując powietrze jako średnio zanieczyszczone. Najniższy poziom mikroorganizmów odnotowano w lutym w lokalizacji numer 1. W pracy Awad i in. (2018) udowodniono, że stężenie bakterii w powietrzu będzie rosło w tych pomieszczeniach zamkniętych, w których obserwuje się zwiększoną aktywność ludzką np. w klasach szkolnych. Chen i Hildemann (2009) badając jakość mikrobiologiczną powietrza w domach mieszkalnych również udowodnili, że aktywność oraz intensywność ruchu człowieka wpływają na ilość oraz determinują rodzaj mikroorganizmów.

Tabela 6. Liczebność grzybów [wyrażona w jtk·m⁻³] bioareozolu mikrobiologicznego dla poszczególnych lokalizacji

Table 6. Fungi count [expressed in CFU·m⁻³] of microbiological bioaerosol for individual locations.

Lokalizacja poboru próbek/ Sampling location	Termin poboru / Sampling date		
	01.09.2022	22.02.2023	22.03.2023
1.	750	150	250
2.	820	60	100
3.	510	100	120
4.	410	200	120

W tabeli 7 znajdują się maksymalne wartości dopuszczalnego stężenia grzybów w pomieszczeniach mieszkalnych oraz użyteczności publicznej opracowane przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych (Górny 2010, Gołofit-Szymczak i in. 2013). Natomiast w tabeli 3, zebrano wartości graniczne odnoszące się do stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego przez grzyby. Wartości te zostały później porównane z uzyskanymi wynikami.

Tabela 7. Dopuszczalne stężenie całkowite i respirabilne grzybów w powietrzu pomieszczeń zamkniętych

Table 7. Permissible total and respirable fungi concentrations in indoor air.

Czynnik mikrobiologiczny / Microbiological factor	Dopuszczalne stężenie w pomieszczeniach mieszkalnych i użyteczności publicznej / Permissible concentration in residential and public utility premises	
	Całkowita / Total	Respirabilna / Respirable
Grzyby / Fungi	5,0 x 10 ³ jtk·m ⁻³ / CFU·m ⁻³	2,5 x 10 ³ jtk·m ⁻³ / CFU·m ⁻³

Źródło / Source: [Górny 2010, Gołofit-Szymczak i in. 2013, PN-89/Z-04111/03]

Średnio największe liczebności grzybów notowano we wrześniu we wszystkich lokalizacjach, natomiast w żadnej z badanych lokalizacji nie zanotowano przekroczenia dopuszczalnych norm. Podwyższoną liczebność grzybów można zaobserwować w próbie kontrolnej (lokalizacja 1) we wszystkich terminach poboru próbek. Zwiększona ilość grzybów we wrześniu jest spowodowana korzystnymi warunkami atmosferycznymi panu-

jącymi o tej porze roku. Wiosną i jesienią notuje się wyższe stężenia grzybów w powietrzu, gdyż panują wtedy odpowiednie temperatury oraz wilgotność względna, które sprzyjają aktywności mikrobiologicznej (Awad i in. 2018). Optymalne warunki do rozwoju grzybów to wartości temperatury wahające się w granicach 20-25°C oraz wilgotność powyżej 20% (Nabrdalik i Latała 2003). Hassan i in. (2021) zauważyli, że większa ilość tych mikroorganizmów znajdująca się na zewnątrz niż w pomieszczeniach wewnętrznych może być spowodowana faktem, że część z nich bytuje na roślinach np. *Cladosporium*. W tym miejscu należy zaznaczyć, że lokalizacje 1, 2 oraz 3 są położone bardzo blisko parku, obfitującego w wysokie drzewa oraz krzewy.

Tabela 8. Liczebność promieniowców [wyrażona w jtk·m⁻³] bioareozolu mikrobiologicznego dla poszczególnych lokalizacji

Table 8. *Actinomycetes count [expressed in CFU·m⁻³] of microbiological bioaerosol for individual locations.*

Lokalizacja poboru próbek/ Sampling location	Termin poboru / Sampling date		
	01.09.2022	22.02.2023	22.03.2023
1.	0	10*	0
2.	20*	0	0
3.	10*	80*	0
4.	40*	0	70*

*przekroczone wartości graniczne

* exceeded threshold values

W tabeli 9 przedstawiono wartości dopuszczalnych stężeń promieniowców termofilnych w powietrzu pomieszczeń zamkniętych opracowane przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych (Górny 2010, Gołofit-Szymczak i in. 2013). W tabeli 2 znajdują się maksymalne wartości ogólnej liczby promieniowców opisujące poziom zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, do których odnoszono się podczas interpretacji wyników.

Tabela 9. Dopuszczalne stężenie całkowite i respirabilne promieniowców termofilnych w powietrzu pomieszczeń zamkniętych

Table 9. Permissible total and respirable thermophilic actinomycetes concentrations in indoor air.

Czynnik mikrobiologiczny / Microbiological factor	Dopuszczalne stężenie w pomieszczeniach mieszkalnych i użyteczności publicznej	
	Całkowita / total	Respirabilna / respirable
Promieniowce termofilne / Thermophilic actinomycetes	$2,0 \times 10^2$ jtk·m ⁻³ / CFU·m ⁻³	$1,0 \times 10^2$ jtk·m ⁻³ / CFU·m ⁻³

Źródło / Source: [Górny 2010, Gołofit-Szymczak i in. 2013, PN-89/Z-04111/02]

Odnosząc się do wyników zawartych w tabeli 8, największa liczba promieniowców została zidentyfikowana w lutym w lokalizacji numer 3 oraz w marcu w lokalizacji numer 4. W czterech punktach liczebność promieniowców była wyższa niż 10 jtk·m⁻³, co stanowi przekroczenie dopuszczalnych norm i pozwala zakwalifikować powietrze w tych punktach jako średnio zanieczyszczone. Porównując je z wynikami uzyskanymi przez Wolny-Koładka i in. (2019), w których badano mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza na terenie uniwersytetu, można stwierdzić, że w obu przypadkach zauważono okresowe wzrosty ilości promieniowców. W przytoczonej pracy miesiącem w którym odnotowano największą obecność promieniowców był listopad, natomiast w niniejszej pracy wrzesień (tab. 8). W obu pracach najmniejsze liczebności odnotowano w kwietniu (Wolny-Koładka i in. 2019) oraz w marcu (tab. 8). Można zatem stwierdzić, że obecność promieniowców w powietrzu będzie przejściowa i będzie zależała od pory roku.

Tabela 10. Liczebność gronkowców [wyrażona w jtk·m⁻³] bioareozolu mikrobiologicznego dla poszczególnych lokalizacji

Table 10. Staphylococci count [expressed in CFU·m⁻³] of microbiological bioaerosol for individual locations.

Lokalizacja poboru próbek / Sampling location	Termin poboru / Sampling date		
	01.09.2022	22.02.2023	22.03.2023
1.	140**	20*	90**
2.	380**	0	110**
3.	520**	90*	140**
4.	150**	50*	60**

*przekroczone wartości graniczne, **znacznie przekroczone wartości graniczne

* exceeded threshold values, ** exceeded threshold values

Wyniki, które uzyskano i przedstawiono w tabeli 10, porównano z wartościami granicznymi ogólnej liczby gronkowców hemolizujących znajdujących się w powietrzu atmosferycznym (tab. 11). Gronkowce hodowano na podłożu Chapman i przyjęto że bakterie powodują łącznie hemolizę α i β .

Tabela 11. Wartości graniczne, odnoszące się do zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego przez gronkowce [wyrażona w $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$]

Table 11. Threshold values related to atmospheric air pollution by staphylococci [expressed in $\text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$].

Ogólna liczba gronkowców hemolizujących [$\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$] / Total count of hemolytic staphylococci [$\text{CFU}\cdot\text{m}^{-3}$]		Stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego / Atmospheric air pollution level
α	B	
>25	>50	Silnie zanieczyszczone / Heavily polluted
1-25	1-50	Średnio zanieczyszczone / Modelately polluted
0	0	Niezanieczyszczone / Unpolluted

Źródło / Source: [Chmiel i in. 2015, PN-89/Z-04111/02]

Zgodnie z obowiązującymi normami, które zostały przedstawione w tabeli 11, aby powietrze mogło być zakwalifikowane jako niezanieczyszczone przez gronkowce obecność tych mikroorganizmów musi być równa zero. Uzyskane wyniki pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że liczba dopuszczalnego stężenia gronkowców została przekroczona prawie we wszystkich punktach. W dziewięciu normy zostały znacznie przekroczone (powyżej $50 \text{ jtk}\cdot\text{m}^{-3}$). Obecność takiej ilości gronkowców w powietrzu atmosferycznym jest niepożądana i świadczy o średnio lub silnie zanieczyszczonym powietrzu. Istnieje ryzyko, że wśród tych mikroorganizmów mogą znajdować się gatunki chorobotwórcze dla człowieka takie jak *Staphylococcus aureus* lub *Staphylococcus intermedius*.

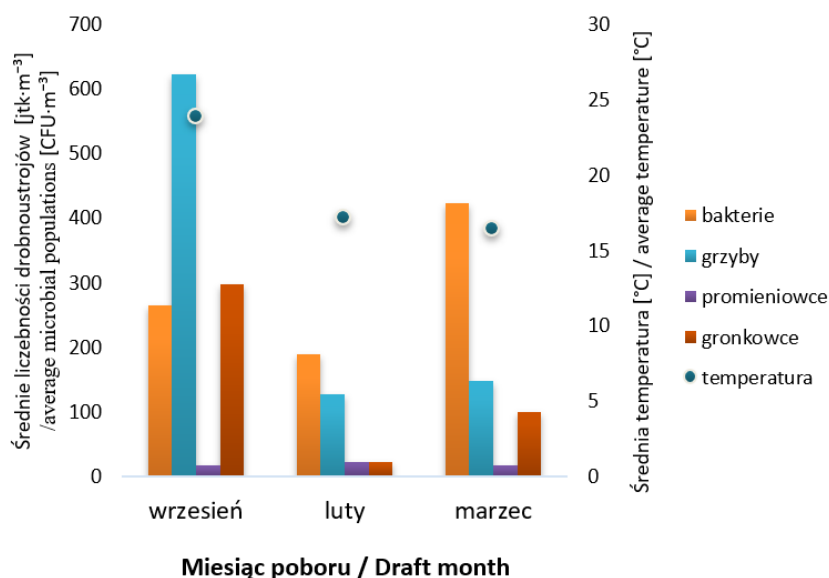
Analiza wpływu temperatury i pory roku na liczebność mikroorganizmów w powietrzu

W tabeli 12 zaprezentowano wartości temperatury powietrza [$^{\circ}\text{C}$], które zostały zmierzone w każdej lokalizacji podczas poboru próbek oraz ich średnie wartości dla każdego miesiąca. Na Rycinie 1 przedstawiono zmiany średnich liczebności mikroorganizmów ($\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$) na przestrzeni trzech miesięcy, w stosunku do temperatury powietrza.

Tabela 12. Wartości temperatury powietrza [°C] zmierzone podczas poboru próbek w każdej lokalizacji oraz ich średnie dla każdego miesiąca

Table 12. Air temperature values [°C] measured during sample collection at each location and their monthly averages.

Lokalizacja poboru próbek/ Sampling location	Termin poboru / Sampling date		
	01.09.2022	22.02.2023	22.03.2023
1.	26,2	10,2	14,1
2.	21,6	17	17,5
3.	25,3	24,5	17,8
4.	22,4	17,1	16,2
Średnia temperatura / Average temperature	23,9	17,2	16,4



Rysunek 1. Zmiany średnich liczebności drobnoustrojów we wszystkich punktach poboru powietrza

Figure 1. Changes in the average number of microorganisms at all sampling points.

Zmiany średnich liczebności drobnoustrojów na przestrzeni trzech miesięcy zaprezentowano na ryc. 1. Na podstawie uzyskanych wyników, można stwierdzić, że najkorzystniejszym pod względem warunków dla rozwoju mikroorganizmów miesiącem był wrzesień. Zwiększona ilość grzybów pojawiająca się początkiem jesieni może być związana ze zwiększającą się wilgotnością powietrza. We wrześniu odnotowano również najwyższą średnią temperaturę powietrza (tab. 12). W przypadku liczebności bakterii najkorzystniejszym pod względem warunków okazał się marzec. W badaniach przeprowadzonych przez Zhao i in. (2022) stwierdzono, że obecność bakterii w powietrzu pomieszczeń zamkniętych jest sezonowa – największa w lecie oraz jesienią, a najmniejsza na wiosnę oraz zimą. Pastuszka i in. (2000) również zaobserwowali silną zależność pomiędzy porą roku a stężeniem mikroorganizmów w powietrzu. Ze wszystkich badanych mikroorganizmów najmniejsze liczebności na przestrzeni trzech miesięcy odnotowano dla promieniowców, natomiast ogólnie najniższe stężenia aerozolu mikrobiologicznego odnotowano w lutym. Badania stopnia zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego przez drobnoustroje przeprowadzone przez Muszyńskiego i in. (2006) udowadniają, że najwięcej grzybów oraz promieniowców wykrywa się wiosną oraz jesienią, a najmniej w miesiącach zimowych.

Tabela 13. Korelacja pomiędzy ilością mikroorganizmów a temperaturą powietrza [°C]

Table 13. Correlation between the quantity of microorganisms and air temperature [°C].

	Temperatura [°C] / Temperature [°C]	
Bakterie [jtk·m ⁻³] / Bacteria [CFU /m ³]	r = 0,20	p = 0,23
Grzyby [jtk·m ⁻³] / Fungi [CFU /m ³]	r = -0,16	p = 0,36
Promieniowce [jtk·m ⁻³] / Actinomycetes [CFU /m ³]	r = 0,21	p = 0,22
Gronkowce [jtk·m ⁻³] / Staphylococci [CFU /m ³]	r = 0,51	p = 0,001*

r – współczynnik korelacji Spearmana, *p* – prawdopodobieństwo błędu I-typu,

* - statystycznie istotna korelacja

r – Spearman correlation coefficient, *p* – probability of a Type I error,

* – statistically significant correlation

Analiza korelacji wykazała umiarkowaną zależność między ilością gronkowców a temperaturą powietrza ($p < 0.05$). Może to oznaczać, że wraz ze wzrostem temperatury, będzie wzrastała liczba gronkowców w powietrzu. W pracy Wolny-Koładka i in. (2019) spośród wszystkich badanych mikroorganizmów korelacja pomiędzy ilością gronkowców, a temperaturą była najwyższa ($r = 0.81$). Korelacja pomiędzy liczbą promieniowców a temperaturą powietrza w obu pracach przyjmowała podobne wartości. Warto zaznaczyć, że korelacja pomiędzy ilością grzybów a temperaturą powietrza w niniejszej pracy była ujemna i słaba, podczas gdy w pracy Wolny-Koładka i in. (2019) korelacja ta była dodatnia i umiarkowana.

WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników oraz ich analizy stwierdzono, że klatki schodowe o małej dostępności światła oraz niedostatecznej wentylacji charakteryzują się zwiększonym stężeniem mikroorganizmów w powietrzu. Wiek budynku, dostępność światła oraz typ wentylacji będą miały wpływ na ilość mikroorganizmów zawartych w bioareozolu. Odnosząc się do przedstawionych w pracy wyników oraz porównując je z obecnie nieujednoliconymi normami prawnymi można stwierdzić, że zestawienie ze sobą dwóch różnych regulacji wartości granicznych wskaźników zanieczyszczenia powietrza powoduje, że uzyskany wynik jednocześnie mieści się w normie i ją przekracza, co uniemożliwia wyciągnięcie jednoznacznych wniosków. Dlatego, należy dążyć do ustanowienia nowych i jednolitych norm prawnych dopuszczalnego stężenia drobnoustrojów w powietrzu, tak aby nie było wątpliwości w interpretacji wyników badań. Dodatkowo, powietrze klatek schodowych może zagrażać zdrowiu człowieka, gdyż w każdej z lokalizacji stwierdzono podwyższone lub znacznie podwyższone stężenie gronkowców oraz promieniowców. Wydaje się, że blok mieszkalny wielorodzinny znajdujący się na os. Szklane Domy pod względem mikrobiologicznej jakości powietrza, spośród wybranych lokalizacji jest najbezpieczniejszym miejscem do mieszkania. Jak pokazały nasze badania, grzyby są mikroorganizmami, których liczebność w powietrzu atmosferycznym wzrasta jesienią. Natomiast liczebność wszystkich badanych mikroorganizmów spada w okresie zimowym.

LITERATURA

1. Awad, A.H., Saeed, Y., Hassan, Y., Fawzy, Y., Osman, M. (2018). *Air microbial quality in certain public buildings, Egypt: a comparative study*. Atmospheric Pollution Research 9(4), 617–626.
2. Chen, Q., Hildemann, L.M. (2009). *The effects of human activities on exposure to particulate matter and bioaerosols in residential homes*. Environ. Sci. Technol. 43:4641–4646.
3. Flannigan, B. (2011). *Microorganisms in indoor air*. [W:] Microorganisms in Home and Indoor Work Environment: Diversity, Health Impacts, Investigation and control. Red. B. Flannigan, R. A. Samson, J. David Miller. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida. (1.2):25–44.
4. Garcia-Solache, M.A., Casadevall, A. (2010). *Global warming will bring new-fungal diseases for mammals*. mBio. 1(1):e00061–10.
5. Gańska-Jędruch, U., Dudzińska, M.R. (2009). *Zanieczyszczenia mikrobiologiczne w powietrzu wewnętrznym (Microbiological pollution in indoor air)*, in Ozoniek, M., and Pawlowski, L., eds., Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej, vol. 2: Lublin, Komitetu Inżynierii Środowiska monograph 59, p. 31–40.
6. Gołofit-Szymczak, M., Ławniczek-Wałczyk, A., Górny, L.R. (2013). *Ilościowa i jakościowa kontrola szkodliwych czynników biologicznych w środowisku pracy*. Podstawy i metody oceny środowiska pracy. 2(76): 5–17.
7. Górny, L.R. (2004). *Biologiczne czynniki szkodliwe: normy, zalecenia i propozycje wartości dopuszczalnych*. Podstawy i metody oceny środowiska pracy. 3(14): 17–39.
8. Górny, L.R. (2010). *Areozole biologiczne – rola normatywów higienicznych w ochronie środowiska i zdrowia*. Medycyna Środowiskowa. 13(1): 41–51.
9. Hassan, A., Zeeshan, M., Bhatti, M.F. (2021). *Indoor and outdoor microbiological air quality in naturally and mechanically ventilated university libraries*. Atmospheric pollution research. 12(8): 101136.
10. Maus, R., Goppelsroder, A., Umhauer, H. (2001). *Survival of bacterial and mold spores in air filter media*. Atmospheric Environment 35: 105–113
11. Muszyński, A., Czerwińska, A., Chruślińska, I. (2006). *Mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza w pomieszczeniach uczelni*. Inżynieria i Ochrona Środowiska. T.9(1): 49–59.
12. Nabrdalik, M., Latała, A. (2003). *Występowanie grzybów strzępkowych w obiektach budowlanych*. Rocznik Państwowego Zakładu Higieny. 54(1): 119–127.
13. Pastuszka, J.S., Kyaw Tha Paw, U., Lis, D.O., Wlazło, A., Ulfig, K. (2000). *Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland*. Atmospheric Environment. 34: 3833–3842.
14. Rai, S., Singh, D.K., Kumar, A. (2021). *Microbial, environmental and anthropogenic factors influencing the indoor microbiome of the built environment*. Journal of Basic Microbiology. 61: 267–292.

15. Wolny-Koładka, K., Malinowski, M., Pieklik, A., Kurpaska, S. (2019). *Microbiological air contamination in university premises and the evaluation of drug resistance of staphylococci occurring in the form of a bioaerosol*. *Indoor and Built Environment*. 28(2): 235–246.
16. Zhao, C., Chen, C., Miao, D., Niu, X., Di, Y. (2022). *Seasonal concentrations and size distributions of culturable bacterial aerosols inside and outside university classrooms – A case study in Beijing*. *Atmospheric Environment*. 270. 118865.
17. Zyśk, J., Wyrwa, A., Suwała, W., Pluta, M., Olkuski, T., Raczyński, M. (2020). *The Impact of Decarbonization Scenarios on Air Quality and Human Health in Poland - Analysis of Scenarios up to 2050*. *Atmosphere* 2020. 11(11): 1222.

Autor do korespondencji: dr hab. inż. Katarzyna Wolny-Koładka, prof. URK
ORCID: 0000-0003-2994-8842
mgr inż. Kaja Sobocińska
Katedra Mikrobiologii i Biomonitoringu,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
Tel: +48 12 662 40 96
E-mail: katarzyna.wolny@urk.edu.pl

Otrzymano: 12.09.2023 r.
Zwrócono po recenzji: 16.10.2023 r.
Zaakceptowano: 21.10.2023 r.