

## Ryzyko zdrowotne wynikające z narażenia na bioaerazol w placówkach ochrony zdrowia

### The health risk due to exposure to bioaerosol occurring in health care institutions

Marcin Ebisz<sup>1 (a, b)</sup>, Karolina Król<sup>1 (b)</sup>, Katarzyna Lar<sup>1 (b)</sup>, Alina Mroczek<sup>1 (b)</sup>,  
Ewa Zbrojkiewicz<sup>1 (b)</sup>, Michał Kopciak<sup>2 (b)</sup>, Renata Złotkowska<sup>1 (a, c)</sup>

<sup>1</sup> Zakład Medycyny Społecznej i Profilaktyki, Wydział Zdrowia Publicznego, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach  
Kierownik: dr hab. n. med. Renata Złotkowska

<sup>2</sup> Studium Doktoranckie Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

(a) koncepcja

(b) opracowanie tekstu i piśmiennictwa

(c) nadzór merytoryczny nad pracą

#### STRESZCZENIE

Osoby pracujące w placówkach ochrony zdrowia stanowią grupę szczególnie narażoną na szereg czynników niebezpiecznych i uciążliwych, a głównymi czynnikami ryzyka są czynniki biologiczne. Do zakażenia może dojść drogą krwiopochodną, jednak ograniczenie ryzyka jest tutaj możliwe poprzez zastosowanie barier mechanicznych. W przypadku przedostawania się drobnoustrojów do powietrza i tworzeniu się bioaerozolu metody prewencji są nieco bardziej utrudnione, a problem dotyczy większej liczby pracowników oraz pozostałych osób korzystających z placówek ochrony zdrowia. Bioaerazol wnika do organizmu człowieka przez układ oddechowy, a w jego skład wchodzi głównie bakterie, grzyby, wirusy oraz inne substancje organiczne, które mogą powodować szereg niekorzystnych zjawisk zdrowotnych.

**Słowa kluczowe:** bioaerazol, szkodliwe czynniki biologiczne, mikroorganizmy, ryzyko zawodowe

#### ABSTRACT

Health care workers employed in health care institutions are a population particularly exposed to a number of dangerous and burdensome factors, and the main risk factors are biological factors. Infections at the workplace can be transferred by blood but the use of mechanical barriers could potentially reduce the risk. When microorganisms are present in the air and create a bioaerosol, prevention methods are more difficult, and the problem relates to a larger number of employees and other people using health care facilities. Bioaerosol enters the human body through the respiratory system and includes mainly bacteria, fungi, viruses and other organic substances which can cause negative health outcomes.

**Key words:** bioaerosol, harmful biological agents, microorganisms, occupational hazard

#### WSTĘP

Jakość powietrza znajdującego się wewnątrz pomieszczeń w głównym stopniu odpowiada za zdrowie i dobre samopoczucie znajdujących się w nim osób. Na czystość powietrza w środowisku pracy człowieka wpływ mają zanieczyszczenia chemiczne, biologiczne, pyłowe, a także panujący w pomieszczeniu mikroklimat [1]. Czynniki biologiczne znajdujące się w powietrzu występują w postaci bioaerozolu,

który stanowi 5–34% zanieczyszczeń wewnątrz pomieszczeń. W skład bioaerozolu wchodzi faza rozpraszająca, którą jest powietrze oraz faza rozproszona utworzona z materii organicznej (bakterie, wirusy, grzyby oraz ich zarodniki, pierwotniaki, fragmenty komórek roślinnych i zwierzęcych, a także fragmenty grzybni) [2]. Mikroorganizmy znajdujące się w bioaerozolu mogą produkować szkodliwe substancje w postaci mykotoksyn, enterotoksyn, endotoksyn lub enzymów, które również wchodzi w skład bioaerozolu.

Dorosły człowiek spędza około 90% swojego życia wewnątrz pomieszczeń, natomiast 25% w pracy, dlatego w ostatnich latach zwraca się coraz większą uwagę na jakość powietrza wewnątrz budynków [1]. Z każdym oddechem człowiek wdycha przeciętnie 0,5 litra powietrza poprzez 15 oddechów na minutę w wyniku czego w ciągu dnia przyjmuje do płuc średnio 10 m<sup>3</sup> powietrza. Zakłada się, że średnio w 1 m<sup>3</sup> znajduje się 1000 CFU (ang. *colony forming unit* – jednostek tworzących kolonie) mikroorganizmów (bakterii i grzybów) [3]. Duże rozpowszechnienie czynników biologicznych w środowisku wewnętrznym może negatywnie oddziaływać na organizm człowieka oraz stwarzać ryzyko zdrowotne wystąpienia alergii, alergicznego zapalenia pęcherzyków płucnych, astmy, infekcji, alergicznego nieżyty nosa, podrażnienia błon śluzowych oraz reakcji organizmu na toksyczne metabolity [4, 5].

Ze względu na stwarzające zagrożenie czynniki biologiczne zostały podzielone na 4 grupy. Do pierwszej grupy zaliczane są te czynniki, przez które wywołanie choroby u ludzi jest mało prawdopodobne. Do grupy drugiej natomiast czynniki, które mogą wywołać choroby u ludzi oraz mogą stwarzać zagrożenie dla pracowników lecz w ich przypadku istnieją skuteczne metody profilaktyki lub leczenia, w wyniku czego ich rozprzestrzenianie się w populacji jest mało prawdopodobne. Do grupy trzeciej zaliczono czynniki, które mogą wywoływać ciężkie choroby i są niebezpieczne dla pracowników, a rozprzestrzenianie ich w populacji jest bardzo prawdopodobne, jednak istnieją w stosunku do nich skuteczne metody profilaktyki lub leczenia. W grupie czwartej zawarto natomiast czynniki biologiczne, które są przyczyną powstawania u ludzi ciężkich chorób oraz są niebezpieczne dla pracowników, a ich rozprzestrzenianie w populacji jest bardzo prawdopodobne oraz nie istnieją zazwyczaj w stosunku do nich skuteczne metody profilaktyki i leczenia [6, 7].

Celem pracy jest przegląd dostępnego piśmiennictwa dotyczącego zanieczyszczenia powietrza bioaerozolem w placówkach opieki zdrowotnej.

## POWSTAWANIE, SKŁAD ORAZ ŹRÓDŁA BIOAERAZOLU

Elementy zanieczyszczenia powietrza w środowisku pracy mogą pochodzić ze źródeł zewnętrznych oraz wewnętrznych. Podstawowym źródłem przyczyniającym się do powstawania bioaerazolu w pomieszczeniach jest człowiek. Człowiek stanowi główny rezerwuuar drobnoustrojów, które wchodzą

w skład jego flory, a uwalnianie biologicznego aerazolu następuje w czasie wykonywania podstawowych czynności fizjologicznych takich jak kichanie, kaszel czy ruch ciała, podczas którego następuję ścieranie naskórka [1, 8]. Człowiek w spoczynku w ciągu minuty emituje do otaczającego go środowiska ok. 106 cząstek >0,3 μm, natomiast będąc w ruchu ok. 108 [9]. Do drobnoustrojów, które emitowane są do środowiska wraz ze ścieraniem naskórkiem zaliczamy głównie *Staphylococcus epidermidis*, który stanowi 90% flory bakteryjnej skóry człowieka, następnie beztlenowce z gatunku *Propionibacterium acnes* (10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup>/cm<sup>2</sup>) oraz *Staphylococcus aureus*, którego nosicielami jest 10–20% zdrowej populacji. Poprzez kichanie oraz kaszel emitowany jest bioaerazol w skład którego wchodzi drobnoustroje występujące na błonie śluzowej jamy ustnej oraz dróg oddechowych, na której głównie bytują paciorkowce tlenowe i beztlenowe, maczugowce, gronkowce, a także patogeny, które mogą stanowić potencjalne zagrożenie np.: *Streptococcus pneumoniae*, *Neisseria meningitidis*, *Haemophilus influenzae*, *Streptococcus pyogenes*, *Candida* spp. [10].

Zanieczyszczenia mikrobiologiczne mogą występować także w elementach budowlanych, konstrukcyjnych i wykończeniowych takich jak tapety, płyty kartonowo-gipsowe i materiały izolujące. Szczególnie elementy budowlane zawierające celulozę są doskonałym podłożem do rozwoju grzybów [8]. Na skutek sprzyjających warunków klimatycznych w miejscach tych dochodzi do rozwoju mikroorganizmów, które mogą być odpowiedzialne za korozję biologiczną (biodeteriorację), a także mogą być przenoszone wraz z powietrzem na nowe powierzchnie i stwarzać zagrożenie dla osób przebywających w pomieszczeniu poprzez wytwarzanie endotoksyn, mykotoksyn, glikanów oraz innych alergenów [1, 11].

Wyroby drewniane i papierowe mogą zostać zasiedlone przez bakterie z rodzaju *Bacillus*, *Streptomyces*, *Cellulomonas* oraz grzyby *Penicillium*, *Fusarium*. W przypadku materiałów budowlanych mineralnych takich jak beton, cegły, szkło, kamień możliwa jest obecność bakterii z rodzaju *Artrobacter*, *Aeromonas*, *Brevibacterium*, *Nitrobacter*, *Nocardia*, *Bacillus* oraz grzybów *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*. Konstrukcje metalowe mogą zostać skolonizowane bakteriami siarkowymi – *Desulfovibrio* spp., *Thiobacillus* spp., *Desulfotomaculum* spp. oraz bakteriami żelazowymi – *Sphaerotilus* spp. i *Gallionella* spp.. Na powierzchniach malowanych farbami obecne mogą być bakterie z rodzaju *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Streptomyces* oraz grzyby z rodzaju *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Fusarium* i *Penicillium* [1].

Istotnym czynnikiem wpływającym na jakość powietrza wewnątrz pomieszczeń jest klimatyzacja, ogrzewanie oraz wentylacja, gdyż nieprawidłowo działające systemy, a w szczególności wchodzące w ich skład nawilżacze powietrza, filtry i zabrudzone przewody wentylacyjne mogą być miejscem namnażania i rozprzestrzeniania się mikroorganizmów. Drobnoustroje zasiedlające instalacje wentylacyjne to głównie bakterie z rodzaju *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Legionella*, *Pseudo-*

*monas* oraz grzyby z rodzaju *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Rhodotorula*, *Alternaria*, *Acremonium*, *Thermoactinomyces* [1]. Jednak prawidłowo działające oraz regularnie konserwowane systemy wentylacyjne pomagają w usunięciu do 80% bioaerozolu dostarczanego z zewnątrz [1, 8]. W Tabeli I przedstawiono główne związki emitowane przez mikroorganizmy oraz ich charakterystykę i wpływ na zdrowie człowieka.

Tabela I. Substancje szkodliwe pochodzenia mikrobiologicznego [5]

Table I. Harmful substances of microbiological origin [5]

Rodzaj substancji	Charakterystyka	Wpływ na organizm
Endotoksyna bakteryjna (LPS)	Cząstki respirabilne wielkości 30–50 nm, występują w najbardziej zewnętrznej warstwie ściany komórkowej bakterii Gram-ujemnych	W płucach aktywuje nieswoiste makrofagi płucne czego skutkiem jest odczyn zapalny, gorączka oraz skurcz oskrzeli i zaburzenia w wymianie gazów
Peptydoglikan (mureina)	Substancja makrocząsteczkowa, główny budulec ściany komórkowej bakterii Gram-dodatnich	Stan zapalny płuc
Mykotoksyny	Nielotne metabolity o budowie cyklicznej i niskiej masie cząsteczkowej np.: aflatoksyny, ochratoksyna A, trichoteceny	Działanie toksyczne, rakotwórcze, mutagenne i teratogenne
Niskocząsteczkowe związki np.: aldehydy, alkohole, ketony, sole, kwasy organiczne	Toksyczne metabolity lotne wytwarzane przez grzyby pleśniowe	Działają drażniąco, toksycznie i rakotwórczo, są przyczyną syndromu chorego budynku oraz chronicznego zmęczenia

## ODDZIAŁYWANIE BIOAEROZOLU NA ORGANIZM CZŁOWIEKA

Głębokość wnikania cząstek bioaerozolu oraz ich wpływ na organizm człowieka zależy od wielkości, kształtu, gęstości, ładunku elektrycznego, a także budowy chemicznej i reaktywności cząstek. Uwarunkowania fizjologiczne człowieka jak np. częstość oddechów i prędkość przepływającego powietrza do płuc także wpływa na proces penetracji dróg oddechowych przez bioaerazol [12]. Faza rozproszona bioaerozolu składa się zazwyczaj z elementów o średnicy od 0,3–100  $\mu\text{m}$ . W jej skład mogą wchodzić pojedyncze komórki bakteryjne oraz formy przetrwalnikowe bakterii, które są wielkości od 0,5–2,0  $\mu\text{m}$  np. *Bacillus* spp., *Xanthomonas* spp., *Pseudomonas* spp., *Arthrobacter* spp., zarodniki grzybów mają natomiast większe rozmiary, np.: 2,5–3,0  $\mu\text{m}$  *Aspergillus fumigatus*, 2,8–3,2  $\mu\text{m}$  *Trichoderma harzianum*, 3,0–4,5  $\mu\text{m}$  *Penicillium brevicompactum*, 3,5–5,0  $\mu\text{m}$  *Aspergillus niger*, 7,0–17,0  $\mu\text{m}$  *Cladosporium macrocarpum*, i 15,0–25,0  $\mu\text{m}$  *Epiccocum nigrum* [13].

Rodzaj oddziaływania cząstek bioaerozolu na komórki organizmu zależy od ich miejsca zatrzymania się w drogach oddechowych, czasu jaki tam przebywają oraz od ich wielkości, a mianowicie:

- cząstki o średnicy równej lub większej niż 10  $\mu\text{m}$  opadają w obrębie nosa i gardła co skutkuje podrażnieniem oczu i błon śluzowych,
- cząstki o średnicy 5–10  $\mu\text{m}$  zatrzymują się w okolicach gardła i tchawicy co może powodować objawy astmatyczne,
- cząstki o średnicy poniżej 0,5  $\mu\text{m}$  docierają do oskrzeli lub pęcherzyków płucnych co może objawiać się alergicznym zapaleniem pęcherzyków płucnych [12].

Nieprawidłowe parametry mikroklimatu wewnątrz pomieszczeń zamkniętych, jak i szereg zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych występujących w powietrzu, może skutkować wystąpieniem Zespołu Chorego Budyńku (SBS – ang. *sick building syndrome*) u osób przebywających we wnętrzu „chorego budynku” Do czynników biologicznych, wpływających na wystąpienie SBS zaliczamy głównie

bakterie (np.: Gram-ujemne będące źródłem endotoksyn), grzyby pleśniowe (*Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*) oraz pyłki roślinne. Wdychanie powietrza w budynkach, gdzie panuje nieodpowiedni dla człowieka mikroklimat skutkuje podrażnieniami i częstymi, nawracającymi infekcjami górnych dróg oddechowych, podrażnieniami oczu, nosa, gardła, kaszlem, nudnościami, bólami i zawrotami głowy, uczuciem ciągłego zmęczenia, brakiem koncentracji i zdolności do pracy umysłowej, sennością, wysypkami skórными, suchością skóry, spadkiem wydolności układu immunologicznego lub nawet chorobami nowotworowymi [1, 14, 15].

Grzyby z rodzaju *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* oraz endotoksyna produkowana przez bakterie z rodzaju *Flavobacterium* odpowiedzialne są za wywołanie tzw. gorączki nawilżaczowej (ang. *humidifier fever*), która objawia się dreszczami organizmu, podwyższoną temperaturą ciała, bólami mięśni oraz ogólnym złym samopoczuciem [16].

Do infekcji organizmu pałeczkami *Legionella* spp. może dojść w wyniku wdychania wodnego aerozolu, który zawiera chorobotwórcze bakterie. Siedliskiem *Legionella* spp. mogą być urządzenia klimatyzacyjne, chłodnie kominowe, wieże chłodnicze, komory zraszania, skraplacze pary, fontanny i węże ogrodnicze,

które wytwarzają aerazol wodny. Bakterie mogą być przenoszone w kroplach wody o średnicy mniejszej niż 5 µm na znaczne odległości wynoszące 3 km, a w niektórych przypadkach na odległości większe, przez co poprzez przewody wentylacyjne mogą dostawać się do wnętrza budynków i stwarzać zagrożenie wywołania zapalenia płuc – „choroby legionistów” (legionelozy) lub gorączki Pontiac [17]. W taki sposób w 2001 roku doszło do epidemii legionelozy w Hiszpanii, w mieście Murcja, gdzie skażona woda w szpitalnej wieży chłodniczej była przyczyną największej potwierdzonej epidemii legionelozy – 449 przypadków [18]. Gorączka Pontiac, w porównaniu z legionelozą ma znacznie łagodniejszy przebieg [17]. Dodatkowe różnice występujące pomiędzy „chorobą legionistów” a gorączką Pontiac przedstawiono w Tabeli II.

W 1987 r. Światowa Organizacja Zdrowia opublikowała listę objawów, które związane są z przebywaniem w budynkach posiadających szkodliwie oddziałujący na organizm człowieka mikroklimat, a także listę chorób związanych z budynkiem (ang. *building related illness*) do których zaliczono SBS, gorączkę nawilżaczową, zakażenia wywołane bakterią *Legionella pneumophila* oraz choroby nowotworowe [15].

Tabela II. Charakterystyka legionelozowego zapalenia płuc oraz gorączki Pontiac [17]

Table II. Characteristics of the Legionnaires' disease and the Pontiac fever [17]

	Legionelozowe zapalenie płuc	Gorączka Pontiac
Częstotliwość występowania	0,1–5 % całej populacji 0,4–14% w szpitalach 1–5% wszystkich zapaleń płuc	10 razy częściej niż legionelozą
Odsetek przypadków	1–5 %	90–98%
Śmiertelność	Różnie, wśród pacjentów szpitalnych do 40–80%	Brak
Okres inkubacji	2–10 dni	5 godzin – 3 dni
Czas trwania choroby	2–3 tygodnie lub dłużej	2–5 dni

## METODY BADANIA BIOAERAZOLU ORAZ NORMATYWY HIGIENICZNE

Najstarszą znaną metodą pobierania zanieczyszczeń mikrobiologicznych z powietrza, jest metoda sedymentacyjna Kocha. Polega ona na otwarciu przez określony czas szalki Petriego zawierającej pożywkę agarową, a następnie inkubacji pobranego materiału i zliczeniu jednostek tworzących kolonie. Metoda ta jest jednak mało dokładna, ponieważ

najmniejsze cząstki (czasem o najistotniejszym znaczeniu) mogą zostać nieoznaczone ze względu na zbyt wolną sedymentację w powietrzu lub jej całkowity brak. Według aktualnych standardów pobierania próbki powietrza, konieczne jest użycie metod wolumetrycznych, polegających na pobraniu mikrobiologicznie zanieczyszczonego powietrza o określonej objętości. W zależności od zastosowanego urządzenia wyróżniamy głównie metody: filtracyjne, zderzeniowe, płuczkowe, elektrostatyczne, odśro-

kową oraz cytometrię przepływową [5,19]. W celu identyfikacji drobnoustrojów w pobranym materiale stosuje się metody hodowlane oraz niehodowlane np.:

- mikroskopowe (mikroskopia kontrastowo-fazowa),
- biochemiczne (oznaczanie metabolitów drobnoustrojów),
- genetyczne (amplifikacja metodą PCR),
- cytometria przepływowa [19].

Aktualnie nie istnieją powszechnie obowiązujące normy, które określałyby wartości dopuszczalne stężeń mikroorganizmów w powietrzu. Jednak w roku 2014 Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych (ZECB) Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy ustalił zalecane dopuszczalne wartości dla powietrza w pomieszczeniach wewnętrznych dla kilku grup czynników biologicznych [4]. Wartości te przedstawiono w Tabeli III.

Tabela III. Zalecane dopuszczalne stężenia drobnoustrojów w powietrzu [4, 12]

Table III. Recommended exposure limits of microorganisms in the air [4, 12]

Czynnik mikrobiologiczny	Dopuszczalne stężenie	
	Pomieszczenia robocze zanieczyszczone pyłem organicznym (dla frakcji respirabilnej wartości powinny być o połowę niższe)	Pomieszczenia mieszkalne i użyteczności publicznej
Bakterie mezofilne	$1,0 \times 10^5$ CFU/m <sup>3</sup>	$5,0 \times 10^3$ CFU/m <sup>3</sup>
Bakterie Gram-ujemne	$2,0 \times 10^4$ CFU/m <sup>3</sup>	$2,0 \times 10^2$ CFU/m <sup>3</sup>
Termofilne promieniowce	$2,0 \times 10^4$ CFU/m <sup>3</sup>	$2,0 \times 10^2$ CFU/m <sup>3</sup>
Grzyby	$5,0 \times 10^4$ CFU/m <sup>3</sup>	$5,0 \times 10^2$ CFU/m <sup>3</sup>
Czynniki z III i IV grupy zagrożenia	0 CFU/m <sup>3</sup>	0 CFU/m <sup>3</sup>
Endotoksyna bakteryjna	200 ng/m <sup>3</sup> (2000 EU/m <sup>3</sup> )	5 ng/m <sup>3</sup> (50 EU/m <sup>3</sup> )

EU – ang. *endotoxin units* – jednostka endotoksyczna

## NARAŻENIE PERSONELU MEDYCZNEGO NA BIOAEROZOL

Pracownicy sektora medycznego, poza ekspozycją na zakażenia drogą krwiopochodną, narażeni są na działanie chorobotwórcze mikroorganizmów znajdujących się w powietrzu. W bioaerozolu występującym w placówkach ochrony zdrowia mogą znajdować się bakterie, wirusy oraz grzyby, które narażają pracowników na wystąpienie takich schorzeń jak: zapalenie zatok, oczu, ucha, spojówek czy grzybicy oraz różnego rodzaju schorzenia dróg oddechowych. W bioaerozolu mogą być obecne również wirusy ospy wietrznej, grypy i różyczki. Szczególne ryzyko spowodowane jest występowaniem w powietrzu prątków gruźlicy, które charakteryzują się dużą wytrzymałością na niesprzyjające warunki środowiska, a w szczególności na wysychanie [20].

Lekarze stomatolodzy oraz personel pomocniczy w gabinetach stomatologicznych narażeni są na wdychanie aerozolu pyłowego i kropelkowego, który wytwarzany jest przez wiertła i dmuchawki wodno-powietrzne podczas przeprowadzania zabiegów stomatologicznych. Bioaerozol ten zawiera

kropki płynów ustrojowych oraz wydzielin z jamy nosowo-gardłowej, drobinki tkanki zębowej oraz kamienia nazębnego, a także występujące w jamie ustnej bakterie, wirusy i grzyby oraz ich toksyny. W skład aerozolu w gabinetach stomatologicznych wchodzi również kropelki wody pochodzącej z unitu dentystycznego. Woda ta mogła zostać pierwotnie skażona poprzez rozwijające się w urządzeniu bakterie, grzyby oraz pierwotniaki [21].

Powietrze wewnątrz szpitali może zawierać szeroki zakres mikroorganizmów chorobotwórczych, a transmisja patogenów może odbywać się pomiędzy poszczególnymi oddziałami. Ze względu na dużą liczbę osób oraz ich zróżnicowaną florę bakteryjną, do powietrza mogą przedostawać się duże ilości bakterii, wirusów oraz grzybów co powoduje, że środowisko szpitalne może być poważnym zagrożeniem zdrowia zarówno personelu jak i pacjentów [22]. Wewnątrz pomieszczeń, w tym także szpitali najczęściej występują Gram-dodatnie ziarniaki, natomiast w mniejszych ilościach występują bakterie Gram-ujemne, do których zaliczymy: *Acinetobacter* spp., *Aeromonas* spp., *Flavobacterium* spp. oraz *Pseudomonas* spp. [23].

## BIOAERAZOL W PLACÓWKACH MEDYCZNYCH W POLSCE I NA ŚWIECIE

Jak wskazują badania przeprowadzone w Polsce przez Pastuszka i wsp. stężenie bakterii w powietrzu w salach chorych wynosiło odpowiednio w dwóch szpitalach 198 oraz 724 CFU/m<sup>3</sup>. Najczęściej występującymi bakteriami były *Staphylococcus* spp. oraz *Micrococcus* spp., które stanowiły 50–78% wszystkich zidentyfikowanych szczepów bakterii, a mikro-

organizmy respirabilne stanowiły 41–86% całej frakcji. Ustalono również, że przebywanie pacjenta w sali chorych zwiększa stężenie drobnoustrojów w powietrzu dwukrotnie [23]. Podobne wyniki uzyskano podczas badania powietrza w 5 szpitalach na terenie Korei – tam także głównymi bakteriami, dominującymi w środowisku szpitalnym były bakterie z rodzaju *Staphylococcus* (50%) i *Micrococcus* (15–20%), a wśród grzybów *Cladosporium* spp. (30%), *Penicillium* spp. (20–25%), *Aspergillus* spp. (15–20%), oraz

Tabela IV. Zidentyfikowane czynniki mikrobiologiczne w placówkach medycznych.

Table IV. Identified microbiological agents in health care institutions.

Miejsce prowadzonych badań (autor)	Zidentyfikowane mikroorganizmy	Stężenie [CFU/m <sup>3</sup> ]
Polska (szpital) – pokoje pacjentów • Sosnowiec	Bakterie: <i>Staphylococcus lugdunensis</i> , <i>Staphylococcus haemolyticus</i> , <i>Brevibacterium</i> , <i>Aureobacterium</i>	Bakterie: 198
• Zabrze  (Pastuszka i in. 2005)	Bakterie: <i>Staphylococcus epidermis</i> , <i>Staphylococcus saprophyticus</i> , <i>Staphylococcus xylosus</i> , <i>Corynebacterium striatum</i> , <i>Actinomycetes</i>	Bakterie: 724
Polska (sanatorium) – pomieszczenia zabiegowe • Szczawnica  (Frączek i in. 2011)	Bakterie: <i>Micrococcus</i> , <i>Staphylococcus simulans</i> , <i>Streptomyces</i> , <i>Rhodococcus</i> Grzyby: <i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium cladosporioides</i> , <i>Candida famata</i> , <i>Scopulariopsis</i> , <i>Rhizopus</i>	Bakterie 137–6223 Grzyby: 18–1247
Iran (szpital) – izba przyjęć, sale operacyjne  (Hosenzadeh i in. 2013)	Bakterie: <i>Staphylococcus</i> (CoNS), <i>Bacillus</i> , <i>Micrococcus</i> Grzyby: <i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Aspergillus</i>	Bakterie: 7,8–24,3 Grzyby: 3,3–34,4
Włochy (szpital) – sale operacyjne w trakcie trwania zabiegu oraz po jego zakończeniu (Pasquarella i in. 2012)	Brak danych	Bakterie: 0–798 Grzyby: 0–78
Korea (szpital) – główny hol, oddział intensywnej terapii, oddział chirurgiczny  (Kim i in. 2009)	Bakterie: <i>Staphylococcus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Bacillus</i> Grzyby: <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Alternaria</i>	Bakterie: 202–372 Grzyby: 65–156
Irlandia (szpital podiatryczny) – pokoje pacjentów (Coggins i in. 2012)	Brak danych	Bakterie: 590 Grzyby: 422
RPA (szpital) – pokoje pacjentów  (Sethare i in. 2014)	Bakterie: <i>Bacillus cereus</i> , <i>Corynebacterium afermentans Kocuria</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Arthrobacter oxydans</i> Grzyby: <i>Candida kefir</i> , <i>Candida krusei</i> , <i>Candida robusta</i> , <i>Agromyces rhizosphaerae</i> , <i>Candida glabrata</i> , <i>Aureobasidium pullulans</i>	Bakterie: <60 Grzyby <40 (metoda Kocha)
Chiny – Tajwan (szpital) – strefa operacyjna i pooperacyjna (Tang i Wan, 2013)	Bakterie: <i>Bacillus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Acinetobacter</i>	Bakterie: 87–384

*Alternaria* spp. (10–20%) [24]. W badaniu przeprowadzonym przez Frączek i wsp. dokonano oceny czystości mikrobiologicznej powietrza w pomieszczeniach sanatorium w Szczawnicy. Badania wykazały stężenia bakterii w powietrzu rzędu 137–6223 CFU/m<sup>3</sup>, podczas gdy kuracjusze korzystali z pomieszczeń zabiegowych. W przypadku gdy pomieszczenia nie były użytkowane przez kuracjuszy, stężenie aerozolu bakteryjnego wynosiło 21–1560 CFU/m<sup>3</sup>. Stężenie grzybów w powietrzu wynosiło odpowiednio podczas pobytu kuracjuszy – 18–1247 CFU/m<sup>3</sup>, natomiast w przypadku ich braku – 0–1109 CFU/m<sup>3</sup>. W grupie bakterii 46% stanowił *Micrococcus* spp., a wśród grzybów najczęściej występującym był *Penicillium* spp. – 28%. Badanie wykazało, że niekorzystna wilgotność powietrza wewnątrz pomieszczeń sanatorium przyczynia się do zwiększania ilości mikroorganizmów w powietrzu co może niekorzystnie wpływać na układ oddechowy oraz immunologiczny pacjentów [25].

Według badań przeprowadzonych w Iranie przez Hosenzadeh i wsp. największe stężenia bioaerozolu występują na oddziałach kobiecych oraz dziecięcych, a najczęściej występującym gatunkiem bakterii jest gronkowiec koagulazoujemny, który stanowił 34% zidentyfikowanych szczepów bakterii [22]. We Włoszech Pasquarella i wsp. dokonali oznaczeń bakterii w powietrzu znajdującym się w salach operacyjnych. Badania te potwierdziły także, że na salach operacyjnych oddziałów ginekologicznych (192 CFU/m<sup>3</sup>) i pediatrycznych (129 CFU/m<sup>3</sup>) występuje nieznacznie więcej bakterii, niż na salach operacyjnych oddziałów urologicznych (126 CFU/m<sup>3</sup>). Podobnie w przypadku grzybów na salach operacyjnych oddziałów kobiecych (8 CFU/m<sup>3</sup>) i dziecięcych (2 CFU/m<sup>3</sup>) odnotowano więcej zarodników grzybów, niż na sali operacyjnej oddziału urologicznego (1 CFU/m<sup>3</sup>) [26].

W badaniu przeprowadzonym w Irlandii przez Coggins i wsp. oznaczono stężenia toksyn w powietrzu. Największą wartość endotoksyny, która wynosiła 32,6 EU/m<sup>3</sup> zanotowano w przypadku oddziału gdzie sprzątania pomieszczeń szpitalnych dokonywano za pomocą odkurzacza domowego, tym samym dowiedziono, że wartość stężenia endotoksyny może zależeć od sposobu sprzątania pomieszczeń szpitalnych. [27]. Na Tajwanie, Tang i Wan przeprowadzili badania dotyczące zależności pomiędzy stężeniem mikroorganizmów w bioaerozolu, a zawartością pyłu PM10 i PM2.5. Wyniki badań wykazały powiązanie pomiędzy stężeniem pyłu, a ilością bakterii w powietrzu [28].

W Republice Południowej Afryki Settlhare i wsp. oznaczyli gatunki mikroorganizmów występujących

w powietrzu szpitala w prowincji Free State. Wyniki badań wykazują występowanie patogennych bakterii i grzybów w pomieszczeniach szpitalnych. Warto wspomnieć, że odsetek ludzi z wirusem HIV w RPA jest wysoki, dlatego występowanie szkodliwych patogenów w bioaerozolu może być potencjalnie niebezpieczne i wpływać na układ immunologiczny, jednak brak jest badań potwierdzających tę zależność [29].

## PODSUMOWANIE

Narażenie na bioaerazol obecny w placówkach medycznych może być przyczyną wystąpienia wielu niepożądanych efektów zdrowotnych, zarówno wśród personelu medycznego jak i pomocniczego, a także wśród pacjentów i innych osób przebywających w budynkach – placówkach ochrony zdrowia. W celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia negatywnych skutków zdrowotnych powstałych w następstwie oddziaływania zanieczyszczeń mikrobiologicznych konieczne jest zmniejszenie ilości drobnoustrojów w pomieszczeniach wewnętrznych.

W przypadku placówek świadczących opiekę medyczną skuteczną metodą zapobiegania rozprzestrzenianiu się bioaerozolu wraz z chorobotwórczymi patogenami jest stosowanie odpowiednich systemów wentylacyjnych które utrzymują obniżone ciśnienie w strefach zwiększonego ryzyka co zapobiega rozprzestrzenianiu się zarazków w inne części budynku. Skuteczna okazuje się również dezynfekcja pomieszczeń lampami ultrafioletowymi jeżeli jest prowadzona w sposób prawidłowy [20]. Należy wpływać także na ilość patogenów przedostających się do powietrza poprzez stosowanie odpowiedniej odzieży ochronnej oraz pozostałych środków ochrony osobistej, a także poprzez odpowiednią dezynfekcję pomieszczeń i narzędzi pracy. Przestrzeganie procedur bezpiecznego postępowania z pacjentem oraz jego materiałem biologicznym, a także właściwa gospodarka odpadami również zmniejsza ilość przedostających się mikroorganizmów do środowiska szpitalnego. Warto także edukować samych pacjentów w zakresie przestrzegania higieny oraz w zakresie postępowania zapobiegającym szerzeniu się zakażeń w szpitalu np.: częste mycie rąk, kasłanie i kichanie w chusteczkę. Dodatkową ochronę dla personelu medycznego oraz pozostałych pracowników placówek medycznych stanowić mogą szczepienia ochronne, które wyeliminują ryzyko zachorowania na daną chorobę zakaźną w stosunku do której istnieją szczepienia ochronne.

## LITERATURA

- [1] Gołofit-Szymczak M., Ławniczek-Wałczyk A., Górny R.L.: Bioaerozole w pomieszczeniach pracy – źródła i zagrożenia. *Bezpieczeństwo Pr* 2013; 03: 9-11.
- [2] Ogórek R., Płaśowska E.: Analiza mikologiczna powietrza wybranych pomieszczeń użytku publicznego. *Doniesienia wstępne. Mikol Lek* 2011; 18: 24–29.
- [3] Mandal J., Brandl H.L.: Bioaerosols in Indoor Environment – A Review with Special Reference to Residential and Occupational Locations. *Open Environ Biol Monit J* 2011; 41: 83–96.
- [4] Górny R.L.: Aerozole biologiczne – rola normatywów higienicznych w ochronie środowiska i zdrowia. *Med Środ* 2010; 13(1): 41–51.
- [5] Dutkiewicz J., Górny R.L.: Biologiczne czynniki szkodliwe dla zdrowia – klasyfikacja i kryteria oceny narażenia. *Med Pr* 2002; 53(1): 29–39.
- [6] Romanowska-Słomka I., Mirosławski J.: Zagrożenia szkodliwymi czynnikami biologicznymi w środowisku pracy. *J Ecol Health* 2011; 15(1): 24–27.
- [7] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki. <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20050810716> (16.10.2015).
- [8] Gąska-Jedruch U., Dudzińska R.M.: Zanieczyszczenia mikrobiologiczne w powietrzu wewnętrznym (w): Ozonka J., Pawłowski A.: Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska 2009; 59: 31–40.
- [9] Muszyński Z.: Drobnoustroje skóry człowieka – wskazówki dla kosmetologów. *Homines Hominibus* 2010; 6: 55–64.
- [10] Dzierżanowska D.: Mikroflora fizjologiczna człowieka. *Opieka Paliatywna Nad Dziećmi* 2009: 157–161.
- [11] Rymasza B.: Biodeterioracja pleśniowa – nieszczęście, którego można uniknąć. *Alergia* 2005: 39–43.
- [12] Górny R.L., Stobnicka A.: Szkodliwe czynniki biologiczne – ochrona zdrowia pracowników. *Bezpieczeństwo Pr* 2014; 4: 6–10.
- [13] Menetrez M.Y., Foarde K., Dean T.R., et al.: An evaluation of the protein mass of particulate matter. *Atmos Env* 2007; 4: 8264–74.
- [14] Gniadek A., Marcisz E.: Zdrowie środowiskowe w miejscu zamieszkania – czynniki zagrożenia. *Probl Hig Epidemiol* 2014; 95(3): 522–8.
- [15] Gładysz J., Nieradko-Iwanicka J., Borzęcki A.: Wpływ zanieczyszczenia powietrza na stan zdrowia i spodziewaną długość życia ludzi. *Probl Hig Epidemiol* 2010; 91(2): 178–80.
- [16] Gołofit-Szymczak M., Jeżowska A., Ławniczek-Wałczyk A., Górny R.L.: Narażenie pracowników konserwujących instalacje wentylacyjne na szkodliwe czynniki biologiczne i chemiczne. *Med Pr* 2012; 63(6): 711–22.
- [17] Polinska-Szys M., Cendrowska-Pinkosz M.: Występowanie i chorobotwórczość bakterii z rodziny Legionellaceae. *Postępy Hig Med Dosw* 2008; 62: 337–53.
- [18] García-Fulgueiras A., Navarro C., Fenoll D., et al.: Legionnaires' disease outbreak in Murcia, Spain. *Emerg Infect Dis* 2003; 9: 915–21.
- [19] Chmiel M.J., Frączek K., Grzyb J.: Problemy monitoringu zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza. *Woda-Środowisko-Obszary Wiej* 2015; T15 Z1 (49): 17-27.
- [20] Świątkowska B.: Zagrożenia zawodowe pracowników opieki zdrowotnej: Co wiemy i co możemy zrobić? *Probl Hig Epidemiol* 2010; 91(4): 522–9.
- [21] Ławniczek-Wałczyk A., Gołofit-Szymczak M., Cyprowski M., Górny R.L.: Szkodliwe czynniki biologiczne w gabinetach stomatologicznych. *Bezpieczeństwo Pr* 2012; 9: 20–3.
- [22] Hoseinzadeh E., Samarghandie M.R., Ghiasian S.A., et al.: Evaluation of Bioaerosols in Five Educational Hospitals Wards Air in Hamedan, During 2011-2012. *J Microbiol* 2013; 6(6): 1-7.
- [23] Pastuszka J.S., Marchwińska-Wyrwał E., Wlazło A.: Bacterial Aerosol in Silesian Hospitals: Preliminary Results. *Polish J Environ Stud* 2005; 14(6): 883–90.
- [24] Kim K.Y., Kim Y.S., Kim D.: Distribution characteristics of airborne bacteria and fungi in the general hospitals of Korea. *Ind Health* 2010; 48: 236–43.
- [25] Frączek K., Górny R.L.: Microbial air quality at Szczawnica Sanatorium, Poland. *Ann Agric Env Med* 2011; 18: 63–71.
- [26] Pasquarella C., Vitali P., Saccani E., et al.: Microbial air monitoring in operating theatres: Experience at the University Hospital of Parma. *J Hosp Infect* 2012; 81: 50–7.
- [27] Coggins M., Hogan V.J., Kelly M., et al.: Workplace exposure to bioaerosols in podiatry clinics. *Ann Occup Hyg* 2012; 56: 746–53.
- [28] Tang C-S., Wan G-H.: Air quality monitoring of the post-operative recovery room and locations surrounding operating theaters in a medical center in Taiwan. *PLOS One* 2013; 8.
- [29] Setlhare G., Malebo N., Shale K., Lues R.: Identification of airborne microbiota in selected areas in a health-care setting in South Africa. *BMC Microbiol* 2014; 14: 100.

## Adres do korespondencji:

*mgr Marcin Ebisz*  
*Zakład Medycyny Społecznej i Profilaktyki*  
*Wydział Zdrowia Publicznego SUM*  
*ul. Piekarska 18*  
*41-902 Bytom*  
*e-mail: marcin.ebisz@gmail.com*  
*tel. +48 512 251 628*