KOSMOS
PROBLEMY NAUK BIOLOGICZNYCH

Tom 68 2019
Numer 3 (324)
Strony 429–441

Polskie Towarzystwo Przyrodników im. Kopernika

KATARZYNA MONIKA ŁAWER

Katedra Cytologii i Embriologii Roślin
Wydział Biologii
Uniwersytet Gdański
Wita Stwosza 59, 80-308 Gdańsk
E-mail: katarzyna.koszycka@biol.ug.edu.pl
kasialawer@wp.pl

SKAŻENIE MIKROBIOLOGICZNE POWIETRZA W MIEJSCOWOŚCIACH ATRAKCYJNYCH TURYSTYCZNIE

WSTĘP

W ostatnich latach obserwowany jest wzrost zainteresowania turystyką w Polsce. Według danych podawanych przez Polski Związek Organizatorów Turystyki liczba osób decydujących się na korzystanie z biur podróży wzrosła o około 60% (w stosunku do lat sprzed 2017 r.). W celu przyciągnięcia turystów władze miast często inwestują w zapewnienie atrakcji turystycznych, takich jak: wyciągi do nart wodnych, labirynty z krzewów, nowe miejsca wypoczynku podczas wycieczek rowerowych i kajakowych, wyposażenie w urządzenia sportowe i rekreacyjne oraz wiele innych. W konsekwencji unikatowe walory niektórych miejscowości poddawane są coraz silniejszej antropopresji. Decydując się na odpoczynek w miejscach zmienionych przez człowieka, nie zdajemy sobie sprawy z tego, że każda nowa infrastruktura może być potencjalnym źródłem zagrożenia dla środowiska naturalnego i może przyczyniać się do zwiększenia emisji zanieczyszczeń.

Mówiąc o zanieczyszczeniach, większość z nas ma na myśli pyły, spaliny, nieprzyjemne zapachy i toksyczne związki chemiczne. Niewiele osób wie, że szczególnie groźny dla naszego zdrowia jest bioaerozol skolonizowany przez mikroorganizmy patogenne. Niestety nasza wiedza dotycząca mikroorganizmów występujących w powietrzu jest ciągle zbyt mała. Dopiero w ostatnich latach szerzej zainteresowano się tematem jakości mikrobiologicznej powietrza. Szczególny nacisk skierowany jest jednak na badanie powietrza w środowisku pracy i w miejscach użyteczności publicznej.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie problemu, jakim jest skażenie mikrobiologiczne powietrza w miejscowościach atrakcyjnych pod względem turystycznym. Podjęta została próba zebrania wiedzy i uwypuklenia najważniejszych problemów związanych z bioaerozolem oraz przeanalizowanie wpływu wysokiego stężenia mikroorganizmów w powietrzu na organizm człowieka.

AEROZOL BIOLOGICZNY

Bioaerozol jest mieszaniną głównie żywych drobnoustrojów oraz cząstek nieożywionych pochodzenia biologicznego. Wśród cząsteczek rozproszonych w powietrzu wyróżnia się cząsteczki wody, substancje organiczne oraz cząsteczki stałe takie jak: nasiona, pyłki, kurz, komórki wegetatywne, przetrwalniki bakterii, fragmenty strzępek grzybów i produkty ich metabolizmu (np. mikotoksyny) (LIBUDZISZ i współaut. 2007). Bioaerozol może pochodzić ze źródeł naturalnych takich jak: gleba, las, pustynie, mokradła, morza i oceany (GANDOLFI i współaut. 2013). Może on również powstawać przez działalność człowieka jaką jest rolnictwo, kompostowanie, segregacja odpadów, zbiórka odpadów organicznych, przetwórstwo żywności, hodowla zwierząt, oczyszczanie ścieków (BRODIE i współaut. 2007).

Słowa kluczowe: bioaerozol, monitoring powietrza, skażenie mikrobiologiczne powietrza

Stężenie bioaerozolu w powietrzu waha się w szerokim zakresie i zależy od źródła emisji, odległości od tego źródła, prędkości wiatru, przeżywalności drobnoustrojów i opadów atmosferycznych (KOŁWZAN i współaut. 2005). Badania potwierdzają, że największą liczbę drobnoustrojów znajduje się przy powierzchni gleby, na obszarach o gęstym zaludnieniu, w warunkach panującej suszy i podczas wietrznej pogody (JETHON i GRZYBOWSKI 2000).

Mikroorganizmy są porywane przez wiatr do wyższych warstw atmosfery. Szacuje się, że około 25% cząstek upostaciowanych w atmosferze to mikroorganizmy w rozmiarach od 0,2 μm do 50 μm (LEHNEN i współaut. 2018). NASA potwierdza występowanie drobnoustrojów, w zmniejszających się ilościach, nawet do wysokości 28 km. Podczas badań naukowcy zaobserwowali jednorodną dystrybucję mikroorganizmów do 12 km, gdzie stwierdzono występowanie m.in. *Bacillus* sp., *Micrococcus* sp., *Arthrobacter* sp., *Staphylococcus* sp. i *Brachybacterium* sp. (SMITH i współaut. 2018).

Drobnoustroje rozprzestrzeniają się przez wiatr na znaczne odległości. Zaobserwowano również znaczący wpływ mgły przenoszącej w głąb lądu mikroorganizmy charakterystyczne dla środowiska morskiego, na odległość 50 km (EVANS i współaut. 2019). Badania dotyczące składu rodzajowego mikroorganizmów na różnych wysokościach wykazały, że na wysokości 10 m nad ziemią występują inne gatunki mikroorganizmów niż na wysokości 800 m, gdzie powietrze jest już rozrzedzone (KAKIKAWA i współaut. 2008).

Rozprzestrzenianie się cząsteczek bioaerozolu w powietrzu w znacznym stopniu zależy od ich wielkości. Zwykle posiadają one średnicę mieszczącą się w zakresie od 0,02 do 5 μm (wirusy, endospory i fragmenty komórek). Cząsteczki mogą się także łączyć tworząc agregaty o wielkości najczęściej do 30 μm (bakterie i grzyby, które są połączone z pyłkami lub kroplami wody czy strzępkami roślin) (BROOKS i współaut. 2004). Ze względu na swoją masę agregaty stanowią układ nietrwały, który szybko osiada na powierzchnię i rozprzestrzenia się w nieznacznym stopniu (LIBUDZISZ i współaut. 2007). Najłatwiej rozprzestrzeniają się spory grzybów i bakterii, które są zdolne do podróży przez kontynenty i oceany (BROOKS i GERBA 2014).

Naukowcy zwracają uwagę na związek między zanieczyszczeniem pyłem zawieszonym $PM_{2.5}$ oraz PM_{10} a liczebnością i składem gatunkowym mikroorganizmów w powietrzu (w tym patogenów) (LIU i współaut. 2018, WEI i współaut. 2019). Bioaerozol może odgrywać również bardzo ważną rolę w cyklu hydrologicznym, a tym samym w zmianach klimatycznych. Badania dowodzą, że cząsteczki biologiczne w aerozolu tworzą jądra kondensacji chmur i przyczyniają się do występowania opadów (HUFFMAN i współaut. 2013).

POWIETRZE JAKO ŚRODOWISKO BYTOWANIA MIKROORGANIZMÓW

Powietrze stanowi jedynie miejsce okresowego przebywania mikroorganizmów, a także medium dzięki któremu się rozprzestrzeniają. Na los i transport organizmów w powietrzu mają wpływ takie czynniki jak: wilgotność, temperatura, prędkość wiatru, promieniowanie UV, rodniki tlenowe, proces aerozolizacji (rozproszenie w powietrzu) (BROOKS i GERBA 2014).

Ze względu na trudne warunki panujące w powietrzu, mikroorganizmy musiały wykształcić szereg przystosowań, które ułatwiają im przebywanie w tym środowisku. Bakterie występują w powietrzu jako formy wegetatywne lub przetrwalne, a grzyby najczęściej jako zarodniki, bądź fragmenty grzybni. W sezonie wegetacyjnym często występują także pyłki roślin wiatropylnych, cysty glonów i pierwotniaków, roztocza oraz robaki w postaci jaj lub cyst. Mogą również pojawiać się toksyny wytwarzane przez mikroorganizmy.

Największe prawdopodobieństwo przeżycia i długiego utrzymania się w powietrzu mają formy przetrwalne i komórki wegetatywne bakterii, które wytwarzają barwniki karotenoidowe lub warstwy ochronne (takie jak otoczki czy specjalna budowa ściany komórkowej), zarodniki grzybów oraz wirusy mające otoczkę. Ich budowa i właściwości chronią je przed wysychaniem i działaniem promieniowania słonecznego (BROOKS i współaut. 2004).

Wytwarzane przez bakterie formy przetrwalne posiadają odmienną budowę niż komórki wegetatywne i charakteryzują się wysoką odpornością na działanie szkodliwych czynników środowiskowych. Ważniejszymi formami przetrwalnymi są: endospory laseczek *(Bacillus i Clostridium),* konidia promieniowców (Actinomycetales), miksospory bakterii śluzowych (Myxobacteriales), akinety oraz odporne na suszę i niską temperaturę grubościenne formy sinic, które zawierają duże ilości cyjanoficyny i glikogenu (KUNICKI-GOLDFINGER 2001).

Komórki bakterii wytwarzają barwniki karotenoidowe, które zapewniają ochronę przed promieniowaniem słonecznym, zapobiegając procesowi fotooksydacji. Barwne kolonie najczęściej tworzą bakterie z rodzajów: *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Mycobacterium*

i *Nocardia* oraz drożdże *Rhodotorula* (SCHLEGEL 2003). Bakterie pozbawione barwników karotenoidowych narażone są na działanie światła słonecznego i zwykle szybko giną. Przypuszcza się też, że dzięki grubszej ścianie komórkowej formy wegetatywne bakterii Gram-dodatnich wykazują większą odporność (np. na wysychanie).

W powietrzu przebywają także zarodniki grzybów, które służą do rozmnażania bezpłciowego. Produkowane są one w bardzo dużej liczbie i dostają się do powietrza, z którym rozprzestrzeniają się na znaczne odległości.

Wirusy, zwłaszcza przenoszone drogą kropelkową, również mają przystosowania do przebywania w powietrzu. Wiele z nich jest zaopatrzonych w specjalną warstwę białkową ochraniającą nukleokapsyd. Przykładem może być wirus grypy. Stosunkowo dużą stabilność spośród wirusów wykazują też enterowirusy, które mają nieosłonięty nukleokapsyd (KOŁWZAN i współaut. 2005).

MIKROBIOLOGICZNA OCENA STANU SANITARNEGO POWIETRZA

Badania mikrobiologicznej czystości powietrza koncentrują się zwykle na tak zwanych mikroorganizmach wskaźnikowych, które nie muszą posiadać właściwości chorobotwórczych, ale ich obecność świadczy o możliwości występowania organizmów patogennych. Dotychczas nie udało się ustalić uniwersalnych i powszechnie akceptowanych mikroorganizmów wskaźnikowych opisujących stopień skażenia sanitarnego powietrza. Jako organizmy wskaźnikowe, najczęściej traktuje się organizmy charakterystyczne dla danego emitora. Ich oznaczanie pozwala na określenie strefy oddziaływania i stanu sanitarnego powietrza. Ważnym parametrem charakteryzującym mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza jest też ogólna liczba bakterii obecna w $1m^3$ powietrza.

BADANIE ZANIECZYSZCZEŃ MIKROBIOLOGICZNYCH POWIETRZA

W badaniach laboratoryjnych dotyczących skażenia mikrobiologicznego powietrza wykorzystuje się najczęściej metody mikroskopowe i hodowlane. Dużą trudność w tego typu badaniach stanowi metodyka pobierania prób, dzięki której będą one reprezentatywne dla badanego środowiska i obarczone minimalnym błędem. W metodach hodowlanych wyróżniamy trzy sposoby pobierania prób z powietrza: metodę sedymentacyjną Kocha, filtracyjną i zderzeniową (impakcyjną) (KAISER i WOLSKI 2007). Metoda mikroskopowa badania powietrza polega na umieszczeniu na drodze zasysanego powietrza szkiełka powleczonego lepką substancją (np. wazeliną). Następnie, „wyłapane" drobnoustroje są barwione (oranżem akrydyny bądź DAPI) i liczone pod mikroskopem fluorescencyjnym. Ostateczny wynik badania jest podawany jako liczba drobnoustrojów w 1 m^3 powietrza (KOŁWZAN i współaut. 2005). Metody hodowlane polegają na przeniesieniu drobnoustrojów znajdujących się w powietrzu na powierzchnię wybranej pożywki. Inkubuje się je w odpowiedniej temperaturze, po czym liczy się powstałe kolonie, a wynik podaje w jednostkach tworzących kolonie na m^3 powietrza (jtk/m^3) (ang. colony forming units, CFU). Metoda ta pozwala na wykrycie wyłącznie żywych organizmów zdolnych do wzrostu na zastosowanej pożywce.

Wirusy przeżywają jedynie w żywych komórkach, dlatego metoda ich badania różni się od badań nad pozostałymi mikroorganizmami. W celu hodowli wirusów stosuje się tkanki, jakimi są np. nabłonek tchawicy człowieka lub nerki małpy. W przypadku bakteriofagów stosuje się hodowle bakteryjne. Identyfikacja gatunkowa wirusów jest bardzo pracochłonna i wymaga zastosowania metod biologii molekularnej lub użycia surowic odpornościowych, zawierających odpowiednie przeciwciała. Badania takie wymagają pobrania dużych objętości powietrza ze względu na niewielką czułość metod badawczych.

W powietrzu możliwe jest także wykrycie toksyn i alergenów, jednak badania te są bardzo kosztowne i pracochłonne. Najczęściej polegają one na wykorzystaniu reakcji immunologicznych z użyciem przeciwciał skierowanych przeciwko znanym antygenom. Szeroko wykorzystywana jest również chromatografia (KOŁWZAN i współaut. 2005).

Nowoczesne metody barwienia pozwalają nie tylko policzyć obecne w próbie mikroorganizmy, ale również określić ich aktywność metaboliczną i enzymatyczną. Dzięki technikom biologii molekularnej możliwe jest oznaczenie przynależności taksonomicznej. Coraz częściej stosuje się takie techniki jak: łańcuchowa reakcja polimerazy (ang, polimerase chain reaction, PCR), elektroforeza w gradiencie czynnika denaturującego (ang. denaturing gradient gel electrophoresis, DGGE), polimorfizm długości terminalnych fragmentów restrykcyjnych (ang terminal restriction fragment length polymorphism, T-RFLP), testy biochemiczne jakimi są ELISA (ang. enzyme linked immunosorbent assay) i LAL (ang. limulus amoebocyte lysate), sekwencjonowanie metodą Sangera, fluorescencyjna hybrydyzacja in situ (ang. fluorescent in situ hybridization, FISH) oraz cytometria prze-

pływowa (ang. flow cytometry, FCM) (YOO i współaut. 2017).

NORMY

Otrzymane wyniki przeważnie interpretuje się przy pomocy ustalonych i obowiązujących norm. W Polsce ostatnio obowiązujące normy pochodziły z 1989 r. Według nich powietrze atmosferyczne można było nazwać czystym pod względem mikrobiologicznym, kiedy zagęszczenie komórek bakterii nie przekracza 1000 jtk/m^3 (PN-89/Z-04111/02), a grzybów 5000 jtk/m^3 (PN-89/Z-04111/03). Warunkiem było jednak zaliczenie tych mikroorganizmów do saprofitycznych, a nie chorobotwórczych. Silne skażenie mikrobiologiczne występowało, gdy liczba bakterii w powietrzu przekraczała 3000 jtk /m^3 (PN-89/Z-04111/02), a grzybów wynosia powyżej 5000 jtk/m^3 (PN-89/Z-04111/03). Wartości progowe podane w normach PN-89 nie dotyczą organizmów patogennych, dlatego w momencie występowania patogenów, powietrze zawsze zaliczamy do zanieczyszczonego mikrobiologicznie.

Normy te zostały jednak wycofane bez nowelizacji, a obowiązujące normy (PN-EN 13098:2007P, PN-EN 14031:2006, PN-EN 14042:2010, PN-EN 14583:2008 oraz PN-EN ISO 14698-1:2004 i PN-EN ISO 14698-2:2004) nie uwzględniają granicznych wartości dopuszczalnych stężeń mikroorganizmów i endotoksyn. W 2008 r. weszła w życie Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE, regulująca przepisy dotyczące jakości powietrza dla Europy, zwana Dyrektywą CAFE (ang. clean air for Europe, czyste powietrze dla Europy). Reguluje ona kwestie wartości dopuszczalnych dla dwutlenku siarki, dwutlenku azotu i tlenków azotu, pyłu zawieszonego (PM_{10} i $PM_{2,5}$), ołowiu, benzenu i tlenku węgla, ale nie uwzględnia wartości dopuszczalnych dla bioaerozolu. W związku z tym, w odniesieniu do powietrza atmosferycznego, bardzo często można spotkać odwołania do starych norm z serii PN-89. W literaturze często można spotkać także porównania do propozycji Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy (SKOWROŃ I GÓRNY 2014).

AEROZOL BIOLOGICZNY JAKO ŹRÓDŁO ZAGROŻENIA DLA CZŁOWIEKA

Wszystkie źródła emisji bioaerozolu powodują przedostawanie się do powietrza specyficznych mikroorganizmów. Przykładami mogą być grzyby powodujące choroby skóry (źródła rolno-spożywcze), bakterie jelitowe wywołujące choroby układu pokarmowego lub enterowirusy atakujące układ nerwowy (oczyszczalnie ścieków) oraz bakterie wytwarzające endotoksyny (składowiska odpadów). W powietrzu mogą znajdować się również groźniejsze drobnoustroje takie jak: prątki gruźlicy (*Mycobacterium tuberculosis*), laseczki wąglika (*Bacillus anthracis*), paciorkowce hemolityczne oraz inne, występujące w plwocinie oraz kurzu, szczególnie w szpitalach i ośrodkach medycznych (KWAŚNA 2007).

Wrotami zakażenia dla mikroorganizmów patogennych najczęściej staje się błona śluzowa układu oddechowego, ulegająca uszkodzeniu w warunkach podwyższonego zanieczyszczenia pyłowego i gazowego powietrza. Jest to spowodowane reakcją zachodzącą między związkami z powietrza, takimi jak tlenki azotu i siarki, a wodą obecną w drogach oddechowych, w wyniku których powstają związki podrażniające bezpośrednio śluzówkę (np. H_2SO_4). Z tego powodu większą zachorowalność na choroby układu oddechowego obserwuje się w miejscach o silniejszym zanieczyszczeniu powietrza (LEE 2011).

Drogą kropelkową, poprzez wdychanie powietrza, można zakazić się chorobami wirusowymi. Wdychane z powietrzem cząstki wirusowe lokują się w komórkach nabłonkowych górnych i dolnych dróg oddechowych i tam rozpoczynają namnażanie. Po fazie namnażania, część z nich pozostaje w układzie oddechowym powodując tam różnego rodzaju zmiany chorobowe (takie jak: zapalenie oskrzeli, zapalenie płuc, przeziębienie, katar), natomiast inne opuszczają układ oddechowy i atakują tkanki naszego organizmu. Ważniejsze choroby wirusowe przenoszone drogą kropelkową to: grypa (Orthomyxoviridae), grypa rzekoma, świnka, odra, zapalenie oskrzelików i płuc u niemowląt (Paramyxoviridae), różyczka (wirusy zbliżone do Paramyxoviridae), choroby przeziębieniowe (rinowirusy i koronawirusy), ospa wietrzna (Herpesviridae), zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych, pleurodynia (enterowirusy), zapalenie gardła, zapalenie płuc (Adenoviridae) (KOŁWZAN i współaut. 2005, PYANKOV i współaut. 2007).

Równie często można zarazić się chorobami wywoływanymi przez bakterie, które, tak jak w przypadku chorób wirusowych, mogą przedostać się z układu oddechowego do innych narządów. Drogą powietrzną przenoszone są takie choroby, jak: gruźlica płuc (prątki gruźlicy *Mycobacterium tuberculosis*), zapalenie płuc (gronkowce, pneumokoki *Streptococcus pneumoniae*, rzadziej pałeczki *Klebsiella pneumoniae*), angina, płonica, zapalenie gardła (paciorkowce), ropne zapalenia górnych i dolnych dróg układu odde-

chowego i zapalenie opon mózgowych (pleomorficzne pałeczki *Haemophilus influenzae*), krztusiec (pałeczki *Bordetella pertussis*), błonica (maczugowiec błonicy *Corynebacterium diphteriae*), legionelloza (pałeczki z rodzaju *Legionella*, między innymi *L. pneumophila*), nokardioza (tlenowe promieniowce z rodzaju *Nocardia*) Często do rozwoju chorób bakteryjnych przyczyniają się choroby wirusowe. Przykładem może być gronkowcowe zapalenie płuc, poprzedzane grypą lub odrą (LACEY i DUTKIEWICZ 1994).

Trzecim rodzajem chorób, w których czynnik zakaźny przenoszony jest drogą powietrzną, są choroby grzybowe. Przeważnie wywołują je grzyby posiadające zdolność rozkładu keratyny czyli białka, które jest obecne we włosach, sierści, piórach czy pazurach. Są to grzyby geofilne, trafiające jako potencjalne patogeny do powietrza. Mogą one przyczynić się do powstania grzybic powierzchniowych i głębokich. Grzybice powierzchniowe są powodowane przez tak zwane dermatofity (np. *Microsporum racemosum*), które rozkładając keratynę, penetrują struktury naskórka. Grzybice głębokie powstają po wniknięciu w głąb układu oddechowego grzybów, które atakują narządy takie jak płuca. Mogą one nosić nazwę aspergilloz (wywoływana przez kropidlaka popielatego, *Aspergillus fumigatus*) (LACEY i DUTKIEWICZ 1994).

Dużo rzadziej drogą powietrzną rozprzestrzeniają się choroby pierwotniacze. Pierwotniaki wytwarzają cysty odporne na wysychanie i promieniowanie słoneczne, które mogą dostawać się do organizmu człowieka drogą wziewną. Najbardziej znane jest śródmiąższowe zapalenie płuc wywoływane przez sporowca *Pneumocystis carinii* (BROWN i współaut. 2012).

W powietrzu obecne są również czynniki alergizujące oraz toksyczne, do których należą pyłki roślin kwiatowych, zarodniki grzybów i promieniowców, rozdrobnione tkanki zwierzęce (naskórek, sierść, pierze) oraz wysuszone wydaliny i wydzieliny. Pyłki roślinne zawierają także drobnoustroje saprofityczne (np. bakterie Gram-ujemne, zarodniki termofilnych promieniowców i grzybów). Są one przytwierdzone do nośnika i spełniają rolę alergenów (JETHON i GRZYBOWSKI 2000).

Alergia jest nadmierną reakcją organizmu na obecność pewnych substancji (alergenów), w której produkowane są duże ilości przeciwciał przez limfocyty B. Najsilniej alergizująco działają grzyby pleśniowe, termofilne promieniowce i pałeczki Gram-ujemne. Siła działania alergenu zależy od jego rodzaju, zagęszczenia w aerozolu oraz wrażliwości osobniczej (DADAS-STASIAK i współaut. 2010).

Alergeny w różnym stopniu penetrują układ oddechowy. Cząsteczki powyżej 10 μm zatrzymują się w jamie nosowo-gardłowej i powodują katar sienny (np. zarodniki grzyba *Alternaria*, pyłki traw). Cząsteczki o średnicy 4-10 μm zatrzymują się w oskrzelach i powodują astmę oskrzelową (np. zarodniki grzyba *Cladosporium*). Cząsteczki poniżej 4 μm przenikają do oskrzelików i pęcherzyków płucnych (zarodniki grzybów *Aspergillus* i *Penicillium*, większość bakterii, w tym termofilne promieniowce) (GOŁOFIT-SZYMCZAK i GÓRNY 2017).

Kolejnym rodzajem chorób, które mogą być wywoływane przez bioaerozol są zatrucia toksynami produkowanymi przez mikroorganizmy. Toksyny te są przeważnie termostabilne i wykazują aktywność metaboliczną, także w komórkach martwych (JETHON i GRZYBOWSKI 2000). Wnikając drogą wziewną, powodują ostre odczyny zapalne w płucach, ból głowy i wysoką gorączkę. Uważa się je za poważny czynnik zagrożenia zawodowego u osób narażonych na wdychanie pyłu organicznego (np. zbożowego), w których możemy znaleźć pałeczkę *Pantoea agglomerans* (dawniej znaną jako *Ervina herbicola)*, wytwarzającą bardzo aktywną metabolicznie endotoksynę (DUTKIEWICZ i współaut. 2015).

W pyle organicznym mogą być również obecne mikotoksyny, a zwłaszcza α-toksyny, które są metabolitami grzybów z rodzajów *Aspergillus*, *Fusarium* i *Penicillum*. Mikotoksyny wywołują reakcje immunotoksyczne, potencjalnie mając działanie silnie toksyczne, mutagenne, kancerogenne i teratogenne. Są one przyczyną zatruć pokarmowych, ale również mogą powodować nowotwory wątroby i układu oddechowego (JETHON i GRZYBOWSKI 2000).

Toksyny mogą być także wydzielane przez bakterie Gram-ujemne w czasie oczyszczania ścieków, dlatego Komitet ds. Pyłu Organicznego ICOH w Criteria Document ustalił wartości normatywne (w nanogramach na 1 m^3, ng/m^3), które nie powinny wywoływać efektu (no effect level, NEL) zapalenia dróg oddechowych (10 ng/m^3), efektu systemowego (100 ng/m^3) oraz toksycznego zapalenia płuc (200 ng/m^3) (RYLANDER 1997).

CZYNNIKI DETERMINUJĄCE LICZEBNOŚĆ MIKROORGANIZMÓW W POWIETRZU

Dzięki swoim przystosowaniom, mikroorganizmy są zdolne do przebywania we wszystkich środowiskach. Jednak ich liczebność jest determinowana przez odporność na czynniki środowiskowe i zdolność do przetrwania w określonych warunkach.

Rosnąca liczba mikroorganizmów w powietrzu stanowi zagrożenie dla człowieka. Negatywny wpływ mają przede wszystkim toksyny wytwarzane przez drobnoustroje, produkty ich metabolizmu i sam pył organiczny. Przyjmuje się, że powietrze jest niekorzystne dla człowieka, gdy wartość frakcji respirabilnej przekracza 50% (nawet, gdy w powietrzu nie występują mikroorganizmy chorobotwórcze). Dla źródeł emisji przyjmuje się różne wartości progowe. Stężenie bioaerozolu w okolicy pól uprawnych nie powinno przekraczać 10^5 jtk/m^3, a w sąsiedztwie składowisk odpadów 10^4 jtk/m^3. Wartość ta dla bakterii Gram-ujemnych wynosi 10^3 jtk/m^3 (KOŁWZAN i współaut. 2005).

Badania prowadzone na terenach oczyszczalni ścieków wskazują, że liczba mikroorganizmów w powietrzu zmniejsza się wraz z odległością od źródła emisji. Na koncentrację zawartości mikroorganizmów w powietrzu ściśle wpływa sezonowość. Najwięcej mikroorganizmów odnotowuje się późną wiosną i latem (DEGHANI i współaut. 2018). Badania frakcji wnikającej do dróg oddechowych na terenie oczyszczalni ścieków potwierdzają, że zawartość mikroorganizmów w powietrzu waha się od niezagrażającej naszemu zdrowiu, do wartości znacznie przekraczającej bezpieczną (MICHAŁKIEWICZ 2019). Oczyszczalnie ścieków położone w okolicy terenów rekreacyjnych mogą mieć zatem znaczny wpływ na zdrowie lub samopoczucie przebywających tam osób.

Badania prowadzone w różnych częściach świata dowodzą, że stężenie mikroorganizmów w powietrzu może osiągać różne wartości. W Ciechocinku stężenie drobnoustrojów wahało się od wartości 0 do 1300 jtk/m^3 na terenach rekreacyjnych i do 4800 jtk/m^3 w mieście (BURKOWSKA i DONDERSKI 2007, 2008). W tym przypadku należy pamiętać, że tereny rekreacyjne Ciechocinka położone są w okolicach tężni, gdzie występuje znaczne zasolenie bioaerozolu. Wpływ solanek zauważalny był również przy badaniu wody w fontannach, gdzie w najbardziej zasolonych, znaleziono najmniej mikroorganizmów (BUDZIŃSKA i współaut. 2017). To samo zjawisko dotyczy powietrza w miejscowościach nadmorskich. W Marsylii liczebność mikroorganizmów występujących w powietrzu, wahała się średnio w przedziale od około 600 do 800 jtk/m^3 dla bakterii i około 200 jtk/m^3 dla grzybów (DI GIORGIO i współaut. 1996). Tak niskie skażenie powietrza w bardzo dużym, przemysłowym mieście było spowodowane negatywnym wpływem wody morskiej na bakterie zawieszone w bioaerozolu. Potwierdzają to też badania prowadzone w innych miejscowościach nadmorskich, z których wynika, że nad brzegiem morza znajduje się mniej mikroorganizmów (BOVALLIUS i współaut. 1978). Również stosunkowo niskie liczebności bakterii (około 1800 jtk/m^3) notowano na gęsto zaludnionych ulicach handlowych Hong Kongu, co mogło być spowodowane obecnością soli w powietrzu (LI i współaut. 2001). Podobne tendencje obserwowano też w Sopocie, gdzie stężenie mikroorganizmów wynosiło około 100 jtk/m^3 w strefie przybrzeżnej i ponad 600 jtk/m^3 w mieście (KRUCZALAK i współaut. 2002).

Zjawisko ograniczenia liczebności mikroorganizmów w wyniku zasolenia bioaerozolu obserwowano też w komorach sanatoryjnych kopalni soli w Bochni i Wieliczce (BIS i współaut. 2003). Komora sanatoryjna w Wieliczce była czysta pod względem bakteriologicznym w 100%, a w Bochni poziom czystości sięgał 95, 8% (GRZYB i współaut. 2003). Badania prowadzone w wykorzystywanych turystycznie rumuńskich jaskiniach, w których nie było złóż soli, dały wyniki o wiele wyższe. Liczebność mikroorganizmów w sezonie letnim dochodziła tam nawet 11000 jtk/m^3 (BORDA i współaut. 2004).

Jednym z najważniejszych czynników decydujących o przeżywalności mikroorganizmów w powietrzu, jest wilgotność, która przeważnie maleje wraz ze wzrostem temperatury. Mikroorganizmy w znacznym stopniu narażone są na wysuszenie. Dodatkowo wilgotność chroni komórki przed napromieniowaniem, poprzez jego absorpcję. Zarówno światło widzialne, jak i promienie podczerwone oraz ultrafioletowe mogą powodować powstawanie mutacji i wolnych rodników, które uszkadzają ważne struktury komórkowe.

Doskonały obraz wpływu wilgotności i nasłonecznienia na mikroorganizmy dają badania prowadzone na terenach nadmorskich. Podczas badań prowadzonych w Sopocie stwierdzono, że oba te czynniki mają znaczny wpływ na liczebność mikroorganizmów w powietrzu. Najwięcej bakterii psychrofilnych notowano w okresie kwiecień-maj, natomiast mezofilnych we wrześniu i październiku. Największą liczbę grzybów można było zaobserwować w miesiącach cieplejszych, co przypadało na lipiec-sierpień (KRUCZALAK i współaut. 2002). Potwierdzenie związku temperatury, nasłonecznienia i wilgotności z liczbą mikroorganizmów w powietrzu znajdujemy również w badaniach prowadzonych w Marsylii, gdzie najwięcej mikroorganizmów w powietrzu znajdowało się w maju i czerwcu, kiedy wilgotność była dość wysoka, a nasłonecznienie i temperatura na poziomie umożliwiającym przeżycie mikroorganizmów w powietrzu (DI GIORGIO i współaut. 1996).

Podczas badania stężenia grzybów w powietrzu, prowadzonych w różnych dzielni-

cach nadmorskiego miasta Izmir w Turcji wykazano, że największe stężenie grzybów znajdowało się w dzielnicy Konak, która jest położona wzdłuż morza i jest największą i najbardziej zatłoczoną częścią miasta. Stężenie grzybów w powietrzu wynosiło tam do 839 jtk/m^3 (BOYACIOGLU i współaut. 2007). W Kairze, który jest miastem niezwykle gęsto zaludnionym, w okolicy stacji miejskiego metra, liczebność mikroorganizmów sięgała nawet 2940 jtk/m^3 (AWAD 2002). Badania prowadzone w nadmorskich kurortach Egiptu dawały wyniki porównywalne z nadmorskimi miejscowościami w innych krajach i utrzymywały się w zakresie od 1500 do 2800 jtk/m^3 (EL-SAYED i EL-MORSY 2006).

Na terenie Kairu i Izmiru analizy były prowadzone w miejscach o dużym zaludnieniu, a oba miasta są silnie uprzemysłowione, bardzo zanieczyszczone i zapylone. Mimo tak sprzyjających warunków ilość mikroorganizmów nie była tam rażąco wysoka. Czynnikiem ograniczającym ich liczbę było prawdopodobnie intensywne promieniowanie słoneczne. W dużych miastach leżących w innych strefach klimatycznych, gdzie nasłonecznienie jest zdecydowanie mniejsze, liczebności mikroorganizmów są przeważnie bardzo wysokie. Przykładem może być Poznań, gdzie liczba bakterii w centrum miasta sięgała nawet 16000 jtk/m^3 (BUGAJNY i współaut. 2005). Na terenie Olsztyna również stwierdzono wyższe stężenie mikroorganizmów wynoszące około 3000 jtk/m^3 (ZMYSŁOWSKA i JACKOWSKA 2007).

Zwykle obserwuje się wyraźną zależność pomiędzy liczbą osób na danym terenie a zawartością mikroorganizmów w powietrzu. W Tokio, na zatłoczonych podziemnych przystankach miejskiego metra liczebność bakterii sięgała do 1380 jtk/m^3 (SEINO i współaut. 2005). Bardzo podobne wartości notowano w powietrzu w rzymskich katakumbach. Wynosiły około 1450 jtk/m^3 dla bakterii i zwiększały się w dniach, w których katakumby były otwarte dla ruchu turystycznego (SAARELA i współaut. 2004). Także w Słoweńskich jaskiniach (MULEC i współaut. 2017) i tureckich meczetach (PACA i COLAKOGLU 2017) udostępnianych dla turystów, odnotowywano wyższe liczebności mikroorganizmów. W Polsce, na terenie Krakowa wartości zagęszczenia mikroorganizmów w powietrzu sięgały 1211 jtk/m^3 (MĘDRELA-KUDER 2003), a dużo czystsze powietrze obserwowano w Toruniu, gdzie mikroorganizmy występowały w stosunkowo niskiej liczbie do 372 jtk/m^3 (DONDERSKI i współaut. 2005).

Na zależność pomiędzy zaludnieniem a liczbą mikroorganizmów zwrócił uwagę BOVALLIUS, który już w 1978 r. wykazał, że najwięcej mikroorganizmów można znaleźć na ulicach miast (do 4000 jtk/m^3), następnie na wsiach (do 3400 jtk/m^3), w parkach miejskich (do 2500 jtk/m^3), a najmniej na wybrzeżu (do 560 jtk/m^3).

Liczba mikroorganizmów badana była także w różnych miejscach użyteczności publicznej na terenie całego świata. Analizując zgromadzone wyniki można stwierdzić, że wartości niezagrażające zdrowiu człowieka były przekraczane w tak zaskakujących miejscach jak: szpitale dziecięce (NAZRI i współaut. 2017), biblioteki (UZOECHI i współaut. 2017), basen (ROUDRIGEZ i współaut. 2018), a nawet pod eksperymentalnymi prysznicami w budynkach mieszkalnych (ESTRADA-PEREZ i współaut. 2018, HAMILTON i współaut. 2019). Mikroorganizmy patogenne stwierdzono także w powietrzu na lotnisku (BAILEY i współaut. 2018).

ŹRÓDŁA EMISJI I SKŁAD GATUNKOWY BIOAEROZOLU

Ilość mikroorganizmów w powietrzu jest zależna od występowania w okolicy źródeł ich emisji. Możemy je podzielić na źródła bytowe i naturalne (KOŁWZAN i współaut. 2005). Czynnikiem sprawczym, doprowadzającym do przedostawania się mikroorganizmów ze źródeł naturalnych do powietrza, są porywy wiatru. Jest to szczególnie widoczne przy badaniach prowadzonych na aerozolach morskich. Wykazano, że rozprzestrzenianie się wirusów i bakterii morskich jest stymulowane przez pękanie pęcherzyków wody (ALLER i współaut. 2005). Drobnoustroje są również porywane z powierzchni gleby. Zwłaszcza, rozwijające się w glebie grzyby emitują do powietrza olbrzymią liczbę zarodników. Rodzaj i ilość notowanych w powietrzu zarodników grzybów są zależne od miejsca, w jakim robione są badania. Jednym z podstawowych źródeł bytowych emisji bioaerozolu jest przemysł rolno-spożywczy. Aerozol powstaje w pomieszczeniach hodowlanych oraz podczas wykonywania podstawowych prac rolniczych jakimi są: zbiory plonów, transport, przechowywanie i przerób surowców rolnych i zwierzęcych. Na terenach intensywnie użytkowanych rolniczo powietrze zawiera liczne zarodniki grzybów pleśniowych, tzw. grzyby przechowalniane (*Aspergillus*, *Penicillium*) i tzw. grzyby polowe (*Cladosporium* i *Alternaria*). Badania prowadzone w Polsce i na Ukrainie dowodzą, że wartości bioaerozolu na terenach uprawnych niejednokrotnie przekraczają wartości, które mogą zagrażać zdrowiu (TSAPKO i współaut. 2011).

Wpływ terenów rolniczych na jakość powietrza w miastach jest również dobrze widoczny na przykładzie Ciechocinka. Miasto

ma status uzdrowiska, lecz jest położone w pobliżu ogromnych kompleksów uprawnych. Dane statystyczne dowodzą, że teren gminy Ciechocinek w 50% stanowią użytki rolne. Badania prowadzone na terenie Ciechocinka potwierdzają występowanie w powietrzu takich mikroorganizmów jak: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicillum* i *Aspergillus* (BURKOWSKA i DONDERSKI 2007). Przyczyną występowania tych gatunków jest również duża liczba terenów zielonych znajdujących się na terenie miasta.

Podobne uwarunkowania dotyczą wielu innych miejscowości zlokalizowanych na terenach rolniczych. Jako przykład można podać popularne, turystyczne miasto Rioja w Hiszpanii, które jest znane z wyrobu wina, zatem otaczają je wielkie plantacje winorośli. Konsekwencją tego jest obecność w powietrzu miejskim grzybów z rodzajów *Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicillum* i *Aspergillus.* Występują tam również rzadziej spotykane: *Phytophytora*, *Moniliella* i *Botritis*. W strefach prowadzenia fermentacji wyizolowano także dużą ilość drożdży *Saccharomycetes cerevisiae* (GARIJO i współaut. 2008). Grzyby z rodzajów *Cladosporium, Alternaria, Penicillum* i *Aspergillus.* stwierdzono też w otoczonym terenami uprawnymi tureckim mieście Eskisehir (ERKARA i współaut. 2008) i na terenach wiejskich w Szwecji (BOVALLIUS i współaut.1978).

Znaczne zagrożenie dla zdrowia stwarzają oczyszczalnie ścieków w okolicach miast. Ze względu na specyfikę działalności oczyszczalni ścieków trudno jest znaleźć dla nich odpowiednią lokalizację (BARABASZ i współaut. 2003). Wielkość emisji zależy w tym przypadku od wielu czynników takich jak: skład ścieków, przepustowość oczyszczalni i rodzaj stosowanych urządzeń. Aerozol powstaje głównie przy przelewaniu, wylewaniu, napowietrzaniu i mieszaniu ścieków, co sprzyja ich rozpryskiwaniu. W celu uniknięcia zagrożenia dla zdrowia ludzkiego badacze sugerują hermetyzację źródeł emisji i umiejscowienia oczyszczalni ścieków od zawietrznej strony miast, w bezpiecznej odległości od zabudowań mieszkalnych (MICHAŁKIEWICZ i współaut. 2009).

Podczas oczyszczania ścieków emitowane są przede wszystkim takie mikroorganizmy jak: bakterie jelitowe (Enterobacteriaceae), bakterie hemolizujące, głównie paciorkowce (*Streptococcus*) i gronkowce (*Straphylococcus*), bakterie z rodzaju *Pseudomonas*, drożdże i grzyby drożdżopodobne (*Saccharomyces*, *Candida*, *Cryptococcus*), dermatofity (z rodzaju *Microsporum i Trichophyton*), cysty pierwotniaków i jaja robaków, wirusy jelitowe: (*polio, coxackie*, *echo*, *wzw A*) i retrowirusy (CYPROWSKI i KRAJEWSKI 2003). Ponadto, na szczególną uwagę zasługują bakterie *Helicobacter pylori*, które są izolowane z powietrza na terenach oczyszczalni ścieków. Dwie niezależne grupy badaczy stwierdziły zwiększoną zachorowalność na chorobę wrzodową wśród pracowników oczyszczalni ścieków, w porównaniu z grupą kontrolną (FRIIS i współaut. 1993, THORN i KEREKES 2001).

Badania prowadzone na terenie Torunia, w pobliżu którego znajduje się oczyszczalnia ścieków, potwierdzają obecność bakterii jelitowych z rodziny Enterobacteriaceae. Mikroorganizmy z tej grupy stwierdzano zarówno na terenie uczęszczanego przez turystów Starego Miasta, jak i na peryferyjnym, dużym osiedlu mieszkaniowym Rubinkowo (DONDERSKI i współaut. 2005). Na podstawie badań obecności czynników chorobotwórczych w powietrzu na terenie Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Toruniu stwierdzono niezwykle silne zanieczyszczenie powietrza bakteriami (9-krotnie przekroczenie normy), promieniowcami (10-krotne przekroczenie i grzybami (2-krotne przekroczenie) (BREZA-BORUTA i PALUSZAK 2007).

Bardzo wysokie skażenie powietrza na terenie oczyszczalni ścieków potwierdzają też badania przeprowadzone w Olsztynie, gdzie dodatkowo wykryto wysoką zawartość bakterii hemolizujących, które mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia (FILIPKOWSKA i współaut. 1999).

W ciągu ostatnich lat, oprócz oczyszczalni ścieków, powstaje wiele nowych składowisk odpadów. One również nie są obojętne dla naszego zdrowia. Składowiska sprzyjają powstawaniu zanieczyszczeń wody, gleby i powietrza, niszczą walory estetyczne i krajobrazowe oraz wyłączają okoliczne grunty spod użytku rolniczego (FRĄCZEK i współaut. 2003). Wpływ składowiska na jakość powietrza może sięgać nawet 1200 m (KUŹMIERCZUK i BOJANOWICZ-BABLOK 2014).

Powietrze wokół składowisk odpadów zawiera głównie bakterie charakterystyczne dla gleb i wód. Część z nich ma charakter patogenów oportunistycznych. Większość drobnoustrojów zawartych w tamtejszym powietrzu to organizmy wytwarzające endotoksyny, Gram-ujemne bakterie z rodzaju: *Pseudomonas i Enterobacter* oraz przetrwalnikujące laseczki z rodzaju *Bacillus*. Do grzybów spotykanych w otoczeniu składowisk należą grzyby pleśniowe*: Alternaria alternata*, *Mucor pusillus*, *Aspergillus ochraceus*, oraz grzyby drożdżopodobne: *Candida* sp. *i Geotrichum candidum.* Często notowano też obecność grzybów keratynolitycznych, tzw. dermatofitów *Microsporum racemosum* (CYPROWSKI i KRAJEWSKI 2003).

Podczas badań prowadzonych na terenie sześciu składowiskach odpadów na obsza-

rze całej Polski (Kraków, Rzeszów, Mielec, Tarnów, Gdańsk, Kalwaria Zebrzydowska) odkryto, że wśród wyizolowanej mikroflory zawsze występowały dwa gatunki bakterii chorobotwórczych (*Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*) oraz siedem gatunków grzybów mających negatywny wpływ na zdrowie człowieka (*Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. terreus*, *Candida albicans*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizopus microsporus*) (BARABASZ i współaut. 2005). Należy podkreślić, że dopuszczalna liczebność mikroorganizmów w powietrzu na terenie składowisk odpadów przeważnie zostaje przekroczona. Na obszarach tych występują także bakterie saprofityczne z rodzaju *Bacillus*, *Enterobacter* i *Sarcina*. Podczas badań wyizolowano gatunki chorobotwórcze z rodzaju *Salmonella*, *Serratia*, *Staphylococcus* i *Streptococcus* (FRĄCZEK i współaut. 2003).

Niezależnie od źródła bioaerozolu, jego skład jakościowy i ilościowy jest kształtowany przez dwie, różne grupy czynników. Pierwsza sprzyja rozwijaniu się mikroorganizmów, za czym idzie zwiększona ich liczebność. Druga natomiast powoduje ubytek drobnoustrojów w powietrzu. Do czynników sprzyjających rozwojowi mikroorganizmów należy występowanie w atmosferze większej ilości cząstek organicznych. Mikroorganizmy najczęściej osadzają się na cząsteczkach kurzu i innych zanieczyszczeniach stałych (LI i KENDRICK 1995, KRZYWICKA i współaut. 1997) i stąd właśnie bierze się większe stężenie mikroorganizmów w miastach o wysokim poziomie zurbanizowania (MĘDRELA-KUDER 1992).

Zawartość grzybów w powietrzu zbadano w Pekinie i Hanzhou w Chinach, w miejscach atrakcyjnych turystycznie. Przeważały tam rodzaje: *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus* i *Trichoderma*. Wyższe wartości odnotowano w Pekinie (FANG i współaut. 2018). Podobne badania przeprowadzono w Mediolanie. Wyodrębniono tam: Actinobacteridae, Clostridiales, Sphingobacteriales i kilka rzędów proteobakterii (Burkholderiales, Rhizobiales, Sphingomonadales i Pseudomonadales) (BERTOLINI i współaut. 2012).

Mikroorganizmy potrafią przetrwać i rozwijać się w różnych warunkach. Wraz z postępem technologicznym człowiek nieświadomie tworzy nowe źródła emisji bioaerozolu. Coraz częściej w restauracjach, hotelach i sanatoriach montowane są urządzenia klimatyzacyjne. Zaniedbanie ich czystości może doprowadzić do rozwijania się w nich mikroorganizmów. Osiadają one na filtrach, tłumikach hałasu, tackach ociekowych, powierzchniach chłodnic i w okolicach nawilżaczy. Zakażony klimatyzator rozpyla w trakcie pracy do otoczenia cząstki bioaerozolu zawierające bakterie chorobotwórcze. Szczególnie groźna może być tak zwana choroba legionistów (wywoływana bakterią *Legionella*) oraz „gorączka klimatyzacyjna". Warunki sprzyjające rozwojowi mikroorganizmów zapewnia wilgotność, temperatura i pożywki w postaci zanieczyszczeń (PRUSSIN i współaut. 2017). Badania prowadzone nad bakterią *Legionella pneumophila* dowiodły, że najczęstszym źródłem jej emisji są właśnie powierzchnie chłodnicze klimatyzatorów (ISHIMATSU i współaut. 2001).

Badania dotyczące skażenia mikrobiologicznego powietrza prowadzone są też w wielu nietypowych miejscach uczęszczanych przez ludzi, np. rzymskie katakumby. Oprócz powszechnych rodzajów grzybów znaleziono tam również: *Fusarium*, *Acremonium*, *Torubiella*, *Beauveria*. Skład mikroflory bakteryjnej obejmował głównie: *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Staphylococcus*, *Bacillus* oraz bakterie Gram-ujemne: *Pseudomonas*, *Stenothrophomonas*, *Sinorhicobium*, *Pectobacterium*, *Acinetobacter* (SAARELA i współaut. 2004).

Na terenach archeologicznych stwierdzono, że znajdujące się na podłożu grzyby, częściej od bakterii unoszą się w powietrze. Wykazano również, że w powietrzu znajduje się znaczna liczba promieniowców (MONTE i FERRARI 2000). Podobne prawidłowości zaobserwowano na udostępnionych turystycznie stanowiskach archeologicznych w rejonie Aten w Grecji (PYRRI i KAPSANAKI-GOTSI 2007).

Mikroorganizmy radzą sobie doskonale we wszystkich warunkach, nawet ekstremalnych dla ludzi. Podczas badań dotyczących możliwości przenoszenia przez wiatry bakterii z północnej Afryki na Karaiby stwierdzono obecność w powietrzu na dużych wysokościach takich drobnoustrojów jak grzyby z rodzajów: *Alternaria*, *Cladosporium*, *Dendryphion*, *Massaria*, *Penicillium*, *Stachybotrys*, *Trichophyton* i innych, oraz bakterii: *Brevibacterium*, *Cellulomonas*, *Frigoribacterium*, *Gordonia*, *Kocuria*, *Lechevalieria*, *Leifsonia* i *Lentzea* (GRIFFIN i współaut. 2006). Badania prowadzone na terenie Izraela dowiodły, że na skład mikrobiologiczny powietrza mają wpływ burze piaskowe na Saharze. Badacze wyizolowali różne rodzaje grzybów w zależności od pory roku, jednak podczas burz piaskowych skład mikroflory powietrza zmieniał się i zawierał gatunki poprzednio nie występujące (SCHLESINGER i współaut. 2006). Taką samą zależność odnotowano na pustyni Gobi, gdzie stwierdzono znaczny wzrost liczebności mikroorganizmów po burzy piaskowej (MAKI i współaut. 2017). Analizowano także zależność pomiędzy występowaniem burz piaskowych na pustyniach w Mongo-

lii i Chinach a zwiększeniem zachorowań w mieście Taipej (CHEN i YANG 2005).

Z ekstremalnymi warunkami muszą się zmagać mikroorganizmy przebywające w powietrzu na Antarktydzie. Niewiele mikroorganizmów jest w stanie przeżyć w takich warunkach, jednak badania wykazały stałą obecność kilku gatunków mikroorganizmów (PEARCE i współaut. 2010). Wraz z rozwojem techniki odkrywana jest coraz większa różnorodność gatunkowa. Ilość i skład bioaerozolu na Antarktydzie jest związany z prędkością wiatru i temperaturą. Niektóre z bakterii pozostają w tych warunkach aktywne metabolicznie (KING-MIAOW i współaut. 2019).

PODSUMOWANIE

Mikroorganizmy w różnym stężeniu znajdują się w każdym środowisku. Największą liczebność stwierdza się w dużych aglomeracjach miejskich, gdzie wzmożony ruch powoduje powstawanie dużej ilości kurzu, co sprzyja wysokiej zawartości drobnoustrojów w powietrzu. Skład jakościowy i ilościowy mikroflory w atmosferze jest determinowany czynnikami klimatycznymi, położeniem geograficznym, porą roku, bliskością terenów rolniczych, obecnością zwierząt oraz zanieczyszczeniami pochodzącymi z zabudowań gospodarczych i przemysłu.

Wszystkie miasta są poddane oddziaływaniu otaczającego środowiska, a ich powietrze nie jest wolne od różnego rodzaju zanieczyszczeń biologicznych. Wyjeżdżając w celach turystycznych musimy pamiętać, że okoliczne źródła emisji bioaerozoli będą wpływały na miejsca, w których mamy zamiar wypoczywać. Mikroorganizmy w powietrzu potrafią przemieszczać się na znaczne odległości, co oznacza, że zarówno drobnoustroje saprofityczne, jak i patogenne, z okolicznych źródeł emisji bioaerozolu, mogą doprowadzić do skażenia powietrza w danej miejscowości.

Faktem jest, że wszystkie miejscowości otrzymujące status uzdrowiska muszą zostać poddane wnikliwym badaniom na stężenie zanieczyszczeń, lecz niestety nie bierze się pod uwagę skażenia mikrobiologicznego powietrza. Obecnie wykonywane są badania dotyczące zanieczyszczenia powietrza, jednak zwykle koncentrują się one na skażeniach związkami chemicznymi. Badania skażenia mikrobiologicznego wykonywane są rzadko, dlatego normy dotyczące liczby mikroorganizmów w powietrzu są bardzo stare i nie do końca precyzyjne. Konieczne jest określenie dokładnych norm oraz wskazanie organizmów stanowiących wskaźniki zagrożenia. Ważnym jest również, aby monitorować stężenie mikroorganizmów w powietrzu, co najmniej w miejscach szczególnie zagrożonych przekroczeniem norm, czyli tych, które znajdują się pod wpływem poszczególnych źródeł emisji.

Wybierając miejsce wypoczynku musimy pamiętać o tym, że nawet najbardziej dogodne położenie pod względem braku zanieczyszczenia spalinami, nie gwarantuje nam powietrza czystego mikrobiologicznie. Położenie miejscowości wśród zieleni i pól uprawnych może mieć na nas wpływ alergizujący. Ponadto trzeba pamiętać o tym, że w miejscach letniskowych, pożądanych przez turystów, występuje przeważnie zjawisko przeludnienia. Z tego powodu mamy większy kontakt z mikroorganizmami (w tym patogenami), które są przenoszone przez ludzi.

Streszczenie

Miejscowości atrakcyjne pod względem turystycznym nie są obdarzone odrębnym klimatem. Jakość powietrza w tych miejscowościach silnie zależy od okolicznych źródeł emisji bioaerozolu, takich jak oczyszczalnie ścieków, składowiska odpadów i okoliczne pola uprawne. Przystosowania mikroorganizmów sprawiają, że mogą one przebywać w powietrzu, a nawet rozprzestrzeniać się na znaczne odległości. Niektóre z nich mogą stanowić potencjalne zagrożenia dla zdrowia mieszkańców. Ilość mikroorganizmów w powietrzu jest zmienna i zależy zarówno od ich indywidualnej odporności na czynniki środowiskowe, jak i pory roku, nasłonecznienia, wilgotności, zasolenia i ilości zanieczyszczeń. Skład rodzajowy w głównej mierze zależy od typu źródła zanieczyszczeń oraz strefy klimatycznej i warunków panujących na danym terenie. Udając się na wypoczynek należy pamiętać, że powietrze wolne od spalin nie gwarantuje nam czystości powietrza pod względem mikrobiologicznym.

LITERATURA

ALLER J. Y., KUZNETSOVA M. R., JAHNS CH. J., KEMP P. F., 2005. *The sea surface microlayer as a source of viral and bacterial enrichment in marine aerosols.* J. Aerosol Sci. 36, 801-812.

AWAD A. H. A., 2002. *Environmental study in subway metro stations in Cairo, Egypt.* J. Occupat. Health 44, 112-118.

BAILEY E. S., CHOI J. Y., ZEMKE J., YONDON M., GRAY G. C., 2018. *Molecular surveillance of respiratory viruses with bioaerosol sampling in an airport.* Tropical Dis. Travel Med. Vaccin. 4, 11.

BARABASZ W., ALBIŃSKA D., FRĄCZEK K., GRZYB J., BARABASZ J., KOSIŃSKA B., 2003. *Mikrobiologiczne i zdrowotne zagrożenia dla ludzi wokół składowisk odpadów i oczyszczalni ścieków.* XXXVIII Międzynarodowe Sympozjum Mikrobiologiczne, 41.

BARABASZ W., ALBIŃSKA D., BARABASZ J., 2005. *Obiekty komunalne jako źródła bioaerozolu i mikroorganizmów szkodliwych dla zdrowia.* VII Ogólnopolska Sesja Popularnonaukowa Środowisko a zdrowie, http://www.nadarzyn.tv/PDF/PDF4/Barabasz.pdf.

BERTOLINI V., GANDOLFI I., AMBROSINI R., 2012. *Temporal variability and effect of environmental variables on airborne bacterial communities*

in an urban area of Northern Italy. Appl. Microbiol. Biotechnol. 97, 6561-6570.

BIS H., BARABASZ W., GRZYB J., FRĄCZEK K., WOJKOWSKI J., 2003. *Ocena czystości mikrobiologicznej powietrza w komorach sanatoryjnych kopalni soli w Bochni i Wieliczce.* XXXVIII Międzynarodowe Sympozjum Mikrobiologiczne, 26.

BORDA D., BORDA C., TĂMAŞ T., 2004. *Bats, climate, and air microorganisms in a Romanian cave.* Mammalia 68, 337-343.

BOVALLIUS A., BUCHT B., ROFFEY R., ANAS P., 1978. *Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden.* Appl. Environ. Microbiol. 35, 847-852.

BOYACIOGLU H., HALIKI A., ATES M., GUVENSEN A., ABACI Ö., 2007. *The statistical investigation on airborne fungi and pollen grains of atmosphere in Izmir-Turkey.* Environ. Monitor. Assess. 135, 327-334.

BREZA-BORUTA B., PALUSZAK Z., 2007. *Influence of water treatment plant on microbiological composition of air bioaerosol.* Pol. J. Environ. Stud. 16, 663-670.

BRODIE E. L., DESANTIS T. Z., PARKER J. P. M., ZUBIETTA I. X., PICENO Y. M., ANDERSEN G. L., 2007. *Urban aerosols harbor diverse and dynamic bacterial populations.* Proc. Natl. Acad. Sci. 104, 299-304.

BROOKS J. P., GERBA CH., 2014. *Bioaerosol contamination of produce: potential issues from an unexpected contaminant route.* [W:] *The produce contamination problem.* MATTHEWSK. R., SAPERS G. M., GERBA CH. (red.). Academic Press, Elsevier, 107-117.

BROOKS J. P., GERBA C. P., PEPPER I. L., 2004. *Aerosol emission, fate, and transport from municipal and animal wastes.* J. Resid. Sci. Technol. 1, 13-25.

BROWN G. D., DENNING D. W., GOW N. A. R., LEVITZ S. M., NETEA M. G., WHITE T. C., 2012. *Hidden killers: human fungal infections.* Sci. Translat. Med. 4, doi: 10.1126/scitranslmed.3004404.

BUDZIŃSKA K., PYRC N., SZEJNIUK B., PASELA R., TRACZYKOWSKI A., MICHALSKA M., BERLEĆ K., 2017. *Microbiological contamination of water in fountains located in the Ciechocinek Health Resort.* Ann. Set Environ. Protect. 19, 181-199.

BUGAJNY A., KNOPKIEWICZ M., PIOTRASZEWSKA-PAJĄK A., SEKULSKA-STRYJAKOWSKA M., STACH A., FILIPIAK M., 2005. *On the microbiological quality of the outdoor air in Poznań, Poland.* Pol. J. Environ. Stud. 14, 287-293.

BURKOWSKA A., DONDERSKI W., 2007. *Bacterial pollution of air in health resort Ciechocinek.* Pol. J. Nat. Sci. 22, 633-644.

BURKOWSKA A., DONDERSKI W., 2008. *Airborne molds in the air of Ciechocinek SPA.* Pol. J. Nat. Sci. 23, 790-800.

CHEN Y. S., YANG C. Y., 2005. *Effects of Asian dust storm events on daily hospital admissions for cardiovascular disease in Taipei, Taiwan.* Toxicol. Environ. Health 68, 1457-1464.

CYPROWSKI M., KRAJWSKI J. A., 2003. *Czynniki szkodliwe dla zdrowia występujące w oczyszczalniach ścieków komunalnych.* Medycyna Pracy 54, 73-80.

DADAS-STASIAK E., KALICKI B., JUNG A., 2010. *Najczęściej występujące przyczyny i rodzaje alergii u dzieci w świetle aktualnej epidemiologii.* Pediatria i Medycyna Rodzinna 6, 92-99

DEGHANI M., SOROOSHIAN A., GHORBANI M., FAZLZADEH M., MIRI M., BADIEE P., PARVIZI A. ANSARI M., BAGHANI A. N., DELIKHOON M., 2018. *Seasonal variation in culturable bioaerosol in a wastewater treatment plant.* Aerosol Air Qual. Res. 18, 2826-2839.

DI GIORGIO C., KREMPFF A., GUIRAND H., BINDER P., TIRET C., DUMENIL G., 1996. *Atmospheric pollution by airborne microorganisms in the city of Marcilles.* Atm. Environ. 30, 155-160.

DONDERSKI W., WALCZAK M., PIETRZAK M., 2005. *Microbiological contamination of air within the city of Toruń. Pol. J. Environ. Stud. 14, 223-230.*

DUTKIEWICZ J., MACKIEWICZ B., LEMIESZEK M., GOLEC M., MILANOWSKI J., 2015. *Panotea agglomerans: a marvelous bacterium of evil and good.* Ann. Agricult. Environ. Medi. 22, 576-588.

EL-SAYED M., EL-MORSY, 2006. *Preliminary survey of indoor and outdoor airborne microfungi at coastal buildings in Egypt.* Aerobiologia 22, 197-210.

ERKARA I. P., ASAN A., YILMAZ V., PEHLIVAN S., OKTEN S. S., 2008. *Airborne Alternaria and Cladosporium species and relationship with meteorological conditions in Eskisehir City, Turkey.* Environ. Monitor. Assess. 144, 31-41.

ESTRADA-PEREZ C. E., KINNEY K. A., MAESTRE J. P., HASSAN Y. A., KING M. D., 2018. *Droplet distribution and airborne bacteria in an experimental shower unit.* Water Res. 130, 47-57.

EVANS S. E., DUEKER M. E., LOGAN J. R., WEATHERS K. C., 2019. *The biology of fog: results from coastal Maine and Namib Desert reveal common drivers of fog microbial composition.* Science of the Total Environ. 647, 1547-1556.

FANG Z., ZHANG J., GUO W., LOU X., 2018. *Assemblages of culturable airborne fungi in a typical urban, tourism-driven center of Southeast China.* Aerosol Air Qual. Res., doi: 10.4209/aaqr.2018.02.0042.

FILIPKOWSKA Z., KORZEWKA K., 1999. *Miejska oczyszczalnia ścieków źródłem mikroorganizmów zanieczyszczających powietrze.* Inżynieria i Ochrona Środowiska 2, 333-345.

FRĄCZEK K., MARCINKOWSKA K., BARABASZ W., GRZYB J., 2003. *Występowanie bakterii w powietrzu atmosferycznym w strefie oddziaływania składowisk odpadów komunalnych w Ujkowie Starym, Krakowie i Tarnowie.* XXXVIII Międzynarodowe Sympozjum Mikrobiologiczne, 29.

FRIIS L., EDLING C., HAGMAR L., 1993. *Mortality and incidence of cancer among sewage workers: a retrospective cohort study.* Brit. J. Industr. Med. 50, 653-657.

GANDOLFI I., BERTOLINI V., AMBROSINI R., BESTETTI G., FRANZETTI A., 2013. *Unravelling the bacterial diversity in the atmosphere.* Appl. Microbiol. Biotechnol. 97, 4727-4736.

GARIJO P., SANTAMARÍA P., LÓPEZ R., SANZ S., OLARTE C., GUTIÉRREZ A. N., 2008. *The occurrence of fungi, yeasts and bacteria in the air of a Spanish winery during vintage.* Int. J. Food Microbiol. 125, 141-145.

GOŁOFIT-SZYMCZAK M., GÓRNY R., 2017. *Bioaerozole w budynkach biurowych.* Kosmos 66, 491-502.

GRIFFIN D. W., WESTPHAL D. L., GRAY M. A., 2006. *Airborne microorganisms in the African desert dust corridor over the mid-Atlantic ridge, Ocean Drilling Program, Leg 209.* Aerobiologia 22, 211-226.

GRZYB J., BARABASZ W., BIS H., FRĄCZEK K., WOJKOWSKI J., 2003. *Badania nad występowaniem bakterii w powietrzu komór sanatoryj-*

nych w kopalniach soli w Bochni i Wieliczce. XXXVIII Międzynarodowe Sympozjum Mikrobiologiczne, 33.

HAMILTON K. A., HAMILTON M. T., JOHNSON W., JJEMBA P., BUKHARI Z., LECHEVALLIER M., HAAS C. N., GURIAN P. L., 2019. *Risk-based critical levels of Legionella pneumophila for indoor water uses.* Environ. Sci. Technology., doi: 10.1021/acs.est.8b03000.

HUFFMAN J. A., PRENNI A. J., DEMOTT P. J., PÖHLKER C., MASON R. H., ROBINSON N .H., FRÖHLICH-NOWOISKY J., TOBO Y., DESPRÉS V. R. i współaut., 2013. *High concentrations of biological aerosol particles and ice nuclei during and after rain.* Atm. Chem. Phys. 13, 6151-6164.

ISHIMATSU S., MIYAMOTO H., HORI H., TANAKA I., YOSHIDA S. I., 2001. *Sampling and detection of Legionella pneumophila aerosols generated from an industrial cooling tower.* Ann. Occup. Hygiene 45, 421-427.

JETHON Z., GRZYBOWSKI A., 2000. *Medycyna zapobiegawcza i środowiskowa.* Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.

KAISER K., WOLSKI A., 2007. *Kontrola czystości mikrobiologicznej powietrza.* Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna 4, 158-162.

KAKIKAWA M., KOBAYASHI F., MAKI T., YAMADA M., HIGASHI T., CHEN B., SHI G., HONG CH., TOBO Y., IWASAKA Y., 2008. *Dustborne microorganisms in the atmosphere over an Asian dust source region, Dunhuang.* Air Qual. Atm. Health 1, 195-202.

KING-MIAOW K., LEE K., MAKI T., LACAP-BUGLER D., ARCHER S. D. J., 2019. *Airborne microorganisms in Antarctica: transport, survival and estabilishment.* Ecol. Role Microorg. Antarctic Environ. Springer Polar Sci., doi: 10.1007/978-3-030-02786-5_8.

KOŁWZAN B., ADAMIAK W., GRABAS K., PAWEŁCZYK A., 2005. *Podstawy mikrobiologii w ochronie środowiska.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.

KRUCZALAK K., OLAŃCZUK-NEYMAN K., MARKS M., 2002. *Airborne microorganisms fluctuations over the Gulf of Gdansk Coastal Zone (Southern Baltic).* Pol. J. Environ. Stud. 11, 531-536.

KRZYWICKA H., JANOWSKA J., ZARZYCKA E., 1997. *Działanie promieniowania UV na drobnoustroje znajdujące się w powietrzu.* Rocznik Państwowego Zakładu Higieny 48, 269-274.

KUNICKI-GOLDFINGER W., 2001. Życie bakterii. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

KUŹMIERCZUK M., BOJANOWICZ-BABLOK A., 2014. *Bioaerosol concentration in the air surrounding municipal solid waste landfill.* Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych 25, 2, 17-25.

KWAŚNA H., 2007. *Mikrobiologia.* Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Ciszkowskiego w Poznaniu, Poznań.

LACEY J., DUTKIEWICZ J., 1994. *Bioaerosols and occupational lung disease.* J. Aerosol Sci. 25, 1371-1404.

LEE B.U. 2011. *Life Comes from the Air: A short review on bioaerosol control.* Aerosol Air Qual. Res. 11, 921-927.

LEHNEN J., GUNAWAN B., PRINCE J., BERING E.A., 2018. *A new approach on sampling microorganisms from the lower stratosphere.* AIAA Aerospace Sciences Meeting, AIAA SciTech Forum, 2018-0086.

LI D. W., KENDRICK B., 1995. *A year-round study on functional relationships of airborne fungi with meteorological factors.* Int. J. Biometeorol. 39, 74-80.

LI W. M., LEE S. C., CHAN L. Y., 2001. *Indoor air quality at nine shopping malls in Hong Kong.* Sci. Total Environ. 273, 27-40.

LIBUDZISZ Z., KOWAL K., ŻAKOWSKA Z., 2007. *Mikrobiologia techniczna. Tom I. Mikroorganizmy i środowisko ich występowania.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

LIU H., ZHANG X., ZHANG H., YAO X., ZHOU M., WANG J., HE Z., ZHANG H., LOU L., MAO W., ZHENG P., HU B., 2018. *Effect of air pollution on the total bacteria and pathogenic bacteria in different sizes of particulate matter.* Ecotoxicol. Environ. Safety 233, 483-493.

MAKI T., KUROSAKI Y., ONISHI K., LEE K. C., 2017. *Variations in the structure of airborne bacterial communities in Tsogt-Ovoo of Gobi desert area during dust events.* Air Qual. Atm. Health 10, 249-260.

MĘDRELA-KUDER E., 1992. *Badania mikroflory powietrza atmosferycznego wybranych dzielnic Krakowa.* Archiwum Ochrony Środowiska 2, 61-65.

MEDRELA-KUDER E., 2003. Seasonal variations in the occurrence of culturable airborne fungi in outdoor and indoor air in Craców. Int. Biodeterior. Biodegrad. 52, 203-205.

MICHAŁKIEWICZ M., 2019. *Wastewater treatment plants as a source of bioaerosols.* Pol. J. Environ. Stud. 28, 1-11.

MICHAŁKIEWICZ M., PRUSS A., DYMACZEWSKI Z., MICHALAK J., 2009. *Impact of the containment of selected stages of sewage treatment on microbial pollution. Polish Environmental Engineering five years after Poland joined the European Union.* Komitet Inżynierii Środowiska, PAN Lublin 2, 135-143.

MONTE M., FERRARI R., 2000. *Airborne microorganisms in a subterranean archaeological area of the basilica of San Lorenzo in Lucina (Rome).* Aerobiologia 16, 435-439.

MULEC J., OARGA-MULEC A., STURM S., TOMAZIN R., MATOS T., 2017. *Spacio-temporal distribution and tourist impact on airborne bacteria in a cave (*Škocjan *Caves, Slovenia).* Diversity 9 , 28.

NAZRI N.S., ARIS M. S., DIN S. A., 2017. *Indor air quality assessments in selected child care institutions (nurseries&kindergarten) at Kuantan, Pahang: the implication of occupancy on IAQ.* J. Built Environ. Technol. Engin. 2, 175-181.

PACA H. H., COLAKOGLU G. T., 2017. *A study on the fungi isolated from the carpeting, walls and prayer beads from the "New Mosque and Nuruosmaniye Mosque" situated in the province of Istanbul.* J. Publ. Health Epidemiol. 9, 31-40.

PEARCE D. A., HUGHES K. A., LACHLAN-COPE T., HARANGOZO S. A., JONES A. E., 2010. *Biodiversity of air-borne microorganisms at Halley station, Antarctica.* Extremophiles 14, 145-159.

PRUSSIN A.J., SCHWAKE D.O., MARR L.C., 2017. *Ten questions concerning the areosolization and transmission of Legionella in the built environment.* Build. Environ. 123, 684-695.

PYANKOV O. V., AGRANOVSKI I. E., PYANKOVA O., MOKHONOVA E., MOKHONOV V., SAFATOV A. S., KHROMYKH A. A., 2007. *Using a bioaerosol personal sampler in combination with real-time PCR analysis for rapid detection of airborne viruses.* Environ. Microbiol. 9, 992-1000.

PYRRI I., KAPSANAKI-GOTSI E., 2007. *A comparative study on the airborne fungi in Athens, Greece, by viable and non-viable sampling methods.* Aerobiologia 23, 3-15.

ROUDRIGEZ A., TAJUELO M., RODRIGUEZ D., SESENA S., RUIZ P., PALOP M., 2018. *Assessment of chemical and microbiological parametrs of indoor swimming pool atmosphere using multiple comparisons*. Int. J. Indoor Environ. Health 28, 676-688.

RYLANDER R., 1997. *Endotoxins in the environment – A criteria document*. Int. J. Occup. Environ. Health 3, 1-48.

SAARELA M., ALAKOMI H. L., SUIHKO M. L., MAUNUKSELA L., RAASKA L., MATTILA-SANDHOLM T., 2004. *Heterotrophic microorganisms in air and biofilm samples from Roman catacombs, with special emphasis on actinobacteria and fungi*. Int. Biodeterior. Biodegrad. 54, 27-37.

SCHLEGEL H., 2003. *Mikrobiologia ogólna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa

SCHLESINGER P., MAMANE Y., GRISHKAN I., 2006. *Transport of microorganisms to Israel during Saharan dust events*. Aerobiologia 22, 259-273.

SEINO K., TAKANO T., NAKAMURA K., WATANABE M., 2005. *An evidential example of airborne bacteria in a crowded, underground public concourse in Tokyo*. Atm. Environ. 39, 337-341.

SKOWROŃ J., GÓRNY R., 2014. *Szkodliwe czynniki biologiczne* [W:] *Czynniki szkodliwe w środowisku pracy: wartości dopuszczalne*. AUGUSTYŃSKA D., POŚNIAK M. (red.) Międzyresortowa Komisja ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy. CIOP-PIB, Warszawa.

SMITH D. J., RAVICHANDAR J. D., JAIN S., GRIFFIN D. W., YU H., TAN ., THISSEN J., LUSBY T., NICOLL P., SHEDLER S., MARTINEZ P., OSORIO A., LECHNIAK J., CHOI S., SABINO K., IVERSON K., CHAN L., JAING C., MCGRATH J, 2018. *Airborne bacteria in earth's lower stratosphere resemble taxa detected in the troposphere: Results from a new NASA aircraft bioaerosol collector (ABC)*. Front. Microbiol. 9, 1752.

THORN J., KEREKES E., 2001. *Health effects among employees in sewage treatment plants: A literature survey*. Am. J. Indust. Med. 40, 170-179.

TSAPKO V. G., CHUDNOVETS A. J., STERENBOGEN M. J., PAPACH W., DUTKIEWICZ J., SKÓRSKA C., KRYSIŃSKA-TRACZYK E., GOLEC M., 2011. *Exposure to bioaerosols in the selected agricultural facilities if the Ukraine and Poland – a review*. Ann. Agricult. Environ. Med. 18, 19-27.

UZOECHI A. U., OBI T. N., NNAGBO P. C., OHALETE C. N., ANYIAM V. I., 2017. *Microbiological Evaluation of Indoor Air Quality of State University Library*. Asian J. Appl. Sci. 5, 525-530.

WEI M., XU C., XU X., ZHU C., LI J., LV G., 2019. *Size distribution of bioaerosols from biomass burning emissions: Characteristics of bacterial and fungal communities in submicron ($PM_{1.0}$) and fine ($PM_{2.5}$) particles*. Ecotoxicol. Environ. Safety 171, 37-46.

YOO K., LEE T. K., CHOI E. J., YANG J., SHUKLA S. K., HWANG S., PARK J., 2017. *Molecular approaches for the detection and monitoring of microbial communities in bioaerosols: A review*. J. Environ. Sci. 51, 234-247.

ZMYSŁOWSKA I., JACKOWSKA B., 2007. *Application of two sampling methods to assessment of bacteriological contamination of atmospheric air in Olsztyn*. Pol. J. Nat. Sci. 22, 306-319.

KOSMOS Vol. 68, 3, 429–441, 2019

KATARZYNA MONIKA ŁAWER

Department of Plant Cytology and Embryology, Faculty of Biology, University of Gdansk, 59 Wita Stwosza Str., 80-308 Gdańsk, E-mail: katarzyna.koszycka@biol.ug.edu.pl, kasialawer@wp.pl

MICROBIOLOGICAL AIR CONTAMINATION IN TOURISTIC ATRACTIV PLACES

Summary

Places which are atractiv for tourists, are not endowed with a separate climate. The quality of air in these places depends on the local sources of bioaerosol emissions such as: sewage treatment plants, landfills, and even the surrounding arable fields. Adaptations of microorganisms cause that they can stay in the air and spread over long distances. Some of these microorganisms can be a potential danger to the health of the inhabitants. The amount of microorganisms in the air is not constant and depends on their individual resistance to environmental factors and the season, sun exposure, humidity, salinity and the amount of pollution. The type of microorganisms depends mainly on the type of pollution source, the climate zone and area conditions. We should remember that free from fumes air does not guarantee microbiological cleanness of the air.

Key words: air monitoring, bioaerosol, microbiological air contamination