

Wpłynęło 13.10.2014 r.
Zrecenzowano 25.11.2014 r.
Zaakceptowano 18.12.2014 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

PROBLEMY MONITORINGU ZANIECZYSZCZEŃ MIKROBIOLOGICZNYCH POWIETRZA

Maria J. CHMIEL^{ABEF}, **Krzysztof FRĄCZEK**^{BF}, **Jacek GRZYB**^{EF}

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Mikrobiologii

Streszczenie

W pracy omówiono składniki bioaerozolu ze szczególnym uwzględnieniem zanieczyszczeń mikrobiologicznych (bakterii i grzybów), źródeł ich pochodzenia (naturalne i antropogeniczne) oraz rozprzestrzeniania się i zagrożeń wynikających z obecności drobnoustrojów w powietrzu wewnętrznym i atmosferycznym. Przedstawiono przykładowe choroby, których czynniki przenoszone są drogą powietrzną, oraz problemy związane z regularnym monitoringiem zanieczyszczeń biologicznych atmosfery. Odrębną część pracy poświęcono sposobom badań mikrobiologicznych, przedstawiono krótko wybrane metody badań powietrza oraz omówiono ich wady i zalety.

W ostatniej części przedstawiono problemy dotyczące oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza przez drobnoustroje. Problemy te wynikają z braku obowiązujących norm oraz innych regulacji prawnych związanych z mikrobiologicznym skażeniem powietrza, które umożliwiałyby jednoznaczną interpretację wyników badań.

Słowa kluczowe: bakterie, bioaerozol, grzyby, mikroorganizmy, zanieczyszczenie powietrza

WSTĘP

W powietrzu atmosferycznym – poza składnikami, które znajdują się w nim stale właściwie w niezmiennych proporcjach – znajduje się wiele składników tworzących zanieczyszczenia powietrza. Ich występowanie w środowisku naturalnym jest niepożądane, ale – niestety – nieuniknione. Jeżeli ich emisja (ilość/objętość, tempo) i toksyczność są niewielkie, to w wyniku naturalnych procesów przebiegających w środowisku następuje ich inaktywacja wskutek sedymentacji, asymilacji, rozkładu/degradacji – w przeciwnym wypadku może dochodzić do naruszenia

Do cytowania For citation: Chmiel M.J., Frączek K., Grzyb J. 2015. Problemy monitoringu zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 1 (49) s. 17–27.

równowagi środowiskowej. Można powiedzieć, że zasadniczo problem deficytu powietrza nie istnieje, jednakże całkowicie uzasadnione wydają się obawy związane ze znacznym pogarszaniem się jego jakości.

Jednym z elementów mających istotny wpływ na jakość powietrza jest obecność w nim drobnoustrojów wchodzących w skład bioaerozolu. Powietrze to mieszanina gazów, która sama w sobie nie może stanowić odpowiedniego środowiska do rozwoju mikroorganizmów, ponieważ nie zawiera ono składników pokarmowych i sprzyjających warunków fizykochemicznych umożliwiających ich rozwój. Teoretycznie więc powietrze powinno być wolne od drobnoustrojów, jednak taki stan w przyrodzie praktycznie nie istnieje.

SKŁADNIKI BIOAEROZOLU

Bioaerozol to zbiór cząstek biologicznych rozproszonych w powietrzu lub innej fazie gazowej. W jego skład wchodzi: pojedyncze spory, pyłki roślin, komórki bakteryjne lub wirusy; agregaty utworzone z kilku spor, komórek lub innego materiału biologicznego (np. alergenów ssaków); produkty lub fragmenty grzybní, zarodników grzybów i komórek bakteryjnych (np. endotoksyny, miktotoksyny); materiał biologiczny unoszony samoistnie lub niesiony przez większe cząstki niebiologiczne (np. cząstkę pyłu).

Zanieczyszczenia biologiczne powietrza to przede wszystkim pyłki roślin, grzyby (głównie zarodniki), bakterie i wirusy. Występują one w powietrzu w postaci tzw. aerozoli biologicznych (aeroplanktonu) i mogą odgrywać istotną rolę w przenoszeniu chorób alergicznych, zakaźnych, a nawet przyczyniać się do epidemii. Skład jakościowy i ilościowy wymienionych organizmów ulega dużym zmianom w czasie i przestrzeni. Ze względu na rodzaj i wielkość cząstek bioaerozolu, które tworzą fazę rozproszoną, najczęściej wyróżnia się: wirusy (0,01–1 μm), bakterie (0,1–2 μm), glony (1–9 μm), zarodniki grzybów, mchów i porostów (1–100 μm), pyłki kwiatów (9–90 μm) oraz drobne nasiona i owoce (9–900 μm). Ponadto obecne są toksyny, miktotoksyny, enzymy i fragmenty tkanek roślinnych i zwierzęcych.

ŹRÓDŁA ZANIECZYSZCZEŃ MIKROBIOLOGICZNYCH POWIETRZA

Mikroflora powietrza stała się w ostatnich latach przedmiotem licznych badań naukowych. Prace badawcze miały głównie na celu charakterystykę ilościową i jakościową drobnoustrojów występujących w powietrzu, jak również określenie czynników, które mają wpływ na jego jakość.

Źródła zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza można podzielić na naturalne (gleba, woda, rozkład materii organicznej, fyllosfera roślin) i antropogeniczne

(składowiska odpadów, oczyszczalnie ścieków, kompostownie, farmy hodowlane, gospodarstwa rolne, ruch samochodowy i pochodne). Wśród czynników wpływających na liczebność i skład mikroflory powietrza należy wymienić: rodzaj źródła emisji, wielkość emisji drobnoustrojów, odległość od źródła emisji, przeżywalność drobnoustrojów, warunki meteorologiczne (temperatura, siła wiatru, wilgotność, opady atmosferyczne, działanie światła i promieni UV) i, oczywiście, porę roku [BARABASZ i in. 2007; BREZA-BORUTA 2010; FLANNIGAN i in. 2011; HAMEED i in. 2012; KILISZCZYK i in. 2013; KRZYSZTOFIK 1992; KUMMER, THIEL 2008; RUSSEL, PALUCHOWSKA-ŚWIĘCKA 2008].

Warunki środowiskowe i rozwojowe mikroorganizmów znajdujących się w powietrzu atmosferycznym i w pomieszczeniach (mieszkalnych, użytkowych, inwentarskich) znacząco różnią się od siebie, różne są również źródła pochodzenia tych mikroorganizmów, a także skład liczbowy i gatunkowy. Podstawowym źródłem zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego jest pył bakteryjny i zarodniki grzybów z różnych źródeł naturalnych i antropogenicznych, podczas gdy w pomieszczeniach dominuje mikroflora z górnych dróg oddechowych, mikroorganizmy ze złuszczonego naskórka, pył bakteryjny (z podłóg, ubrań, itp.) i zarodniki grzybów domowych. Drobnoustroje przenoszą się z prądami powietrza i konwekcyjnymi oraz wraz z ruchem ludzi i zwierząt, a w pomieszczeniach głównie pod wpływem wentylacji. Drobnoustroje w powietrzu wewnętrznym są mniej narażone na czynniki meteorologiczne (temperatura, opady atmosferyczne) czy też promieniowanie UV, dlatego również okres ich przeżywalności jest dłuższy, a liczebność nie podlega tak dużym wahaniom sezonowym (zima/lato) jak w powietrzu zewnętrznym, stabilniejszy jest zwykle także skład gatunkowy. Spośród grzybów pleśniowych w pomieszczeniach dominują przedstawiciele rodzajów *Penicillium* i *Aspergillus*, a głównym składnikiem bioaerozolu zewnętrznego są grzyby z rodzaju *Cladosporium* [CABRAL 2010; FLANNIGAN i in. 2011; KRZYŚKO-ŁUPICKA 2010].

ZAGROŻENIA WYNIKAJĄCE Z OBECNOŚCI DROBNOUSTROJÓW W POWIETRZU

Wraz z rozwojem cywilizacji stan czystości powietrza atmosferycznego, a także powietrza w pomieszczeniach zamkniętych, w których przebywają ludzie, stale drastycznie się pogarsza. Zagrożenia wynikające z obecności drobnoustrojów w powietrzu to nie tylko bezpośrednie zagrożenia zdrowia (choroby zakaźne: wirusowe, bakteryjne, grzybowe i pierwotniacze, a także: choroby alergiczne, zatrucia endotoksynami i miktotoksynami), ale także zagrożenia w przemyśle (spożywcym, farmaceutycznym, kosmetycznym), rolnictwie (uprawy roślin i produkcja roślinna, chów i hodowla zwierząt), a nawet budownictwie (zakażenia podłóg gruntowych, uszkodzenia konstrukcji, syndrom chorego budynku).

Analizy przeprowadzone w różnych krajach wskazują, że w większości przypadków koncentracja zanieczyszczeń występujących w powietrzu w budynkach jest zdecydowanie większa niż w środowisku zewnętrznym, jednocześnie skład ilościowy i jakościowy aeromikroflory w pomieszczeniach jest bardziej stabilny. Jest to o tyle ważne, że coraz więcej czasu spędzamy w pomieszczeniach i dlatego tak istotna jest jakość znajdującego się w nich powietrza. Szacunkowo określa się, że ludzie przebywają w zamkniętych budynkach od 80 do 95% czasu. Dorosły człowiek wykonuje ok. 20–22 tys. oddechów na dobę – wdychając w tym czasie ponad 10 m³ powietrza (nawet do 20 m³) łącznie z wszystkimi zanieczyszczeniami w nim zawieszonymi [CABRAL 2010; DACARRO i in. 2003].

Bioaerozole stanowią od 5 do nawet 34% zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego, te o rozmiarach mniejszych niż 5,0 μm zazwyczaj pozostają zawieszone w powietrzu, natomiast duże ulegają sedimentacji [GAŚKA-JĘDRUCH, DUDZIŃSKA 2009; STETZENBACH i in. 2004]. To właśnie małe cząstki biologiczne <7 μm (tak zwana frakcja respirabilna) stanowią istotny problem zdrowotny, gdyż wraz z wdychanym powietrzem dostają się do górnych i dolnych dróg oddechowych. Cząstki o średnicy między 4,7 a 7 μm osadzają się w gardle, o rozmiarach 3,3–4,7 μm docierają do tchawicy i oskrzeli pierwszorzędowych, 1,1–3,3 μm penetrują oskrzela drugorzędowe i końcowe, a mniejsze niż 1,1 μm mogą docierać do oskrzelików płucnych. Największe zagrożenie stanowią cząstki mniejsze niż 2,5 μm [GÓRNY 2004b].

Składniki bioaerozolu mogą wpływać na zdrowie ludzi i zwierząt. Cząstki biologiczne zawieszone w powietrzu mogą być nie tylko bezpośrednią przyczyną alergii i astmy [KIM i in. 2013], ale także czynnikami etiologicznymi wielu innych chorób. Przykładowe choroby, których czynniki etiologiczne przenoszone są drogą powietrzną:

- wirusowe: ospa wietrzna, grypa, mononukleozą, różyczka, świnka (zapalenie przyusznicy), półpasiec, zapalenie opon mózgowych;
- bakteryjne: zapalenie oskrzeli i płuc, nieżyty nosa i oskrzeli; gruźlica płuc, błonica, krztusiec, płonica, promienica płuc;
- grzybicze: aspergiloza płuc (kropidlakowa grzybica płuc), mukormikoza płuc, kryptokokoza płuc, grzybica oskrzeli, geotrychoza płuc, grzybicze zapalenie płuc, grzybica opłucnej i inne.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że zagrożenie stwarza nie tylko obecność w powietrzu drobnoustrojów chorobotwórczych czy toksyn pochodzenia mikrobiologicznego, ale również nadmierna ilość drobnoustrojów saprofitycznych, szczególnie jeśli ich skład jest mało zróżnicowany i dominują organizmy jednego gatunku [CABRAL 2010; FLANNIGAN i in. 2011; GŁADYSZ i in. 2010].

METODY BADAŃ MIKROBIOLOGICZNYCH POWIETRZA

Dotychczas nie ma dobrej metody, umożliwiającej prowadzenie stałego monitoringu zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza, jak np. w przypadku pyłów zawieszonych czy zanieczyszczeń gazowych. Stosowane obecnie techniki pozwalają najczęściej jedynie określić chwilowy stan powietrza. Każda z wykorzystywanych współcześnie metod ma swoje wady i zalety.

Najstarszą i najprostszą metodą używaną do określania liczebności bakterii i grzybów w powietrzu jest metoda sedymentacyjna (opadowa). Jest to sposób niekosztowny, niewymagający specjalistycznej aparatury, jednak uzyskiwane wyniki, w świetle najnowszych badań, wydają się mało wiarygodne – chociażby dlatego, że za jej pomocą nie można wykryć drobnych cząstek bioaerozolu, które nie ulegają sedymentacji lub osiadają bardzo wolno, a objętość badanego powietrza jest jedynie szacunkowa. Znacznie bardziej wiarygodne rezultaty badań dotyczących zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza uzyskuje się, stosując próbniki wolumetryczne (aspiratory, aeroskopy, impaktory), które umożliwiają pobranie i przebadanie ściśle określonej objętości powietrza. W zależności od zastosowanego urządzenia można wyróżnić metody: zderzeniowe, filtracyjne, płuczkowe, elektroprecypitacji, odśrodkową czy cytometrię przepływową. Zastosowanie metod wolumetrycznych pozwala również na zróżnicowanie dalszych etapów badań, gdyż do oznaczania drobnoustrojów w powietrzu można wykorzystać zarówno metody hodowlane, jak i niehodowlane, w tym mikroskopowe (mikroskopia kontrastowo-fazowa), biochemiczne (oznaczanie produktów metabolizmu drobnoustrojów, takich jak enzymy, ergosterol, toksyny), luminescencyjne (oznaczanie ATP), a nawet badania genetyczne (metoda PCR) i cytometrię przepływową [FILIPPO i in. 2013; LIANG i in. 2013; ŁAWNICZEK i in. 2008; MAINELIS i in. 2002; RINSOZ i in. 2008; SESHADRI i in. 2009; WU i in. 2010; YAMAMOTO i in. 2011].

Wyniki badań prezentowane w literaturze przedmiotu świadczą o tym, że liczebność drobnoustrojów oznaczana metodami hodowlanymi jest niedoszacowana, gdyż oznacza się jedynie drobnoustroje „hodowlalne”, pomijając niehodowlane mikroorganizmy, tak zwane VBNC (ang. viable but nonculturable), ponadto oznaczane są tylko bakterie, promieniowce i grzyby, a pomijane wirusy. Na korzyść metod hodowlanych przemawia jednak fakt, że umożliwiają one stosunkowo szybkie i łatwe oznaczenie przynależności systematycznej wyizolowanych drobnoustrojów konwencjonalnymi metodami biochemicznymi.

Najprawdopodobniej żadna ze stosowanych obecnie metod pomiarowych zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza nie zapewnia 100% dokładności wykonanych badań oraz nie pozwala uniknąć błędów pomiarowych, gdyż nie wszystkie zanieczyszczenia są wychwytywane w urządzeniach z jednakową skutecznością [KAISER, WOLSKI 2007].

REGULACJE PRAWNE

Kontrola czystości mikrobiologicznej powietrza w prawodawstwie polskim i światowym jest do dziś niewystarczająco uregulowana, choć pierwsze próby określenia dopuszczalnego mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza były podjęte ponad sto lat temu, gdy pod koniec XIX wieku Odon Bujwid sprecyzował pierwszą propozycję normy, stwierdzając, że: „powietrze mieszkalne nie powinno zawierać więcej niż 50 bakterii w 1 litrze”. Kolejne propozycje pojawiły się dopiero na początku lat 70. dwudziestego wieku [GÓRNY 2004a; KRZYSZTOFIK 1992].

W wielu krajach istnieją jednak już wartości referencyjne, normy ilościowe lub dopuszczalne wartości mające na celu ułatwienie interpretacji wyników uzyskanych w trakcie pomiarów. W literaturze krajowej od kilku lat pojawiają się coraz liczniejsze publikacje dotyczące stanu aerosanitarne, niestety obecnie w Polsce nie ma odpowiednich obowiązujących aktów prawnych regulujących/określających dopuszczalne zawartości drobnoustrojów w powietrzu zarówno atmosferycznym, jak i w pomieszczeniach zamkniętych. Obowiązujące wcześniej normy [PN-89/Z-04008/01; PN-89/Z-04008/08; PN-89/Z-04111/02; PN-89/Z-04111/03] dotyczące zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego zostały uchylone, jednak nie zostały zastąpione nowymi, dlatego też w wielu opracowaniach na temat oceny czystości mikrobiologicznej powietrza zawarte w nich informacje dotyczące granicznych liczebności zanieczyszczeń mikrobiologicznych (tab. 1, 2) są nadal wykorzystywane do interpretacji wyników.

Mając na uwadze istotny wpływ drobnoustrojów występujących w postaci bioaerozolu na zdrowie człowieka, krajowe komitety specjalistów, niezależne grupy naukowców i indywidualni badacze od wielu lat proponują zakresy wartości

Tabela 1. Ocena zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego przez bakterie

Table 1. The assessment of air pollution by bacteria

Ogólna liczba bakterii Total number of bacteria	Ogólna liczba promieniowców Total number of actinomycetes	Liczba gronkowców hemolizujących The number of haemolytic staphylococci		<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego The degree of atmospheric air pollution
		α	β		
$\text{jtk} \cdot \text{m}^{-3}$		$\text{CFU} \cdot \text{m}^{-3}$			
<1 000	<10	0	0	0	nie zanieczyszczone not contaminated
1 000–3 000	10–100	1–25	1–50	1–50	średnio zanieczyszczone slightly contaminated
>3 000	>100	>25	>50	>50	silnie zanieczyszczone highly contaminated

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-89/Z-04111/02.

Source: own elaboration based on PN-89/Z-04111/02.

Tabela 2. Ocena stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego przez grzyby**Table 2.** The assessment of air pollution by fungi

Ogólna liczba grzybów jtk·m ⁻³ Total number of fungi CFU·m ⁻³	Stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego The degree of atmospheric air pollution
3 000–5 000	przeciętnie czyste powietrze atmosferyczne moderately clean atmospheric air
5 000–10 000	zanieczyszczenie mogące negatywnie oddziaływać na środowisko naturalne człowieka contamination that may have a negative impact on human environment
>10 000	zanieczyszczenie zagrażające środowisku naturalnemu człowieka contamination hazardous for the natural human environment

Źródło: opracowanie własne na podstawie PN-89/Z-04111/03

Source: own elaboration based on PN-89/Z-04111/03

dopuszczalnego stężenia szkodliwych czynników biologicznych w pomieszczeniach zamkniętych. Na szczególną uwagę zasługują propozycje Zespołu Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. Największych Dopuszczalnych Stężeń i Największych Dopuszczalnych Natężeń. Dotyczą one bowiem przyjęcia zalecanych wartości dopuszczalnego stężenia grup mikroorganizmów powszechnie występujących w powietrzu pomieszczeń roboczych oraz mieszkalnych i użyteczności publicznej (tab. 3) [GAŚKA-JĘDRUCH, DUDZIŃSKA 2009; GÓRNY 2004a; 2009]. Propozycje te mogą stanowić podstawę do opracowania ogólnie akceptowanych norm dotyczących szkodliwych czynników biologicznych w powietrzu wewnętrznym.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia [2005] do 1. grupy szkodliwości zalicza się czynniki biologiczne, przez które wywołanie chorób u ludzi jest mało prawdopodobne; grupa 2. to czynniki, które mogą wywoływać choroby u ludzi, mogą być niebezpieczne dla pracowników, ale rozprzestrzenienie ich w populacji ludzkiej jest mało prawdopodobne i znane są metody profilaktyki i/lub leczenia. Grupa 3. to te, które mogą wywoływać u ludzi ciężkie choroby, niebezpieczne dla pracowników, a ich rozprzestrzenienie w populacji jest bardzo prawdopodobne, jednak zazwyczaj istnieją w stosunku do nich skuteczne metody profilaktyki lub leczenia (*Bacillus anthracis*, *Brucella* sp., *Burkholderia* sp., *Coxiella* sp., *Mycobacterium* sp., enterostoksyczne szczepy *Escherichia coli* 0157, *Rickettsia* sp., *Salmonella* Typhi, *Yersinia pestis*, wirusy: SARS, Hanta, zapalenia wątroby, wścieklizny i in.). Do grupy 4. zaliczono drobnoustroje, które wywołują u ludzi ciężkie choroby, ich rozprzestrzenienie w populacji ludzkiej jest bardzo prawdopodobne i nie istnieją w stosunku do nich skuteczne metody profilaktyki lub leczenia (wirusy: Ebola, Marburg, gorączka Lassa, ospa prawdziwa i in.).

Tabela 3. Propozycje dopuszczalnej liczebności drobnoustrojów w powietrzu, opracowane przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN

Table 3. Proposals of the acceptable numbers of microorganisms in the air, developed by Team of Experts for Biological Agents of Interdepartmental Committee for NDS and NDN

Grupa drobnoustrojów Group of microorganisms	Dopuszczalna liczebność, jtk·m ⁻³		Acceptable number, CFU·m ⁻³	
	w pomieszczeniach roboczych zanieczyszczonych pyłem organicznym in work spaces contaminated by organic dust		w pomieszczeniach mieszkalnych i użyteczności publicznej oraz powietrzu atmosferycznym in residential and public buildings or in atmospheric air	
	całkowita total	respirabilna respirable	całkowita total	respirabilna respirable
Bakterie mezofilne Mesophilic bacteria	100 000	50 000	5 000	2 500
Bakterie Gram-ujemne Gram-negative bacteria	20 000	10 000	200	100
Promieniowce termofilne Termophilic actinomycetes	20 000	10 000	200	100
Grzyby Fungi	50 000	25 000	5 000	2 500
Czynniki z 3. i 4. grupy zagrożenia ¹⁾ Agents of the 3 rd and 4 th groups of risk ¹⁾	0	0	0	0

¹⁾ Wg Rozporządzenia MZ [2005]: czynniki 3. grupy zagrożenia – drobnoustroje, które mogą wywoływać u ludzi ciężkie choroby, ale istnieją w stosunku do nich skuteczne metody profilaktyki lub leczenia, czynniki 4. grupy zagrożenia – drobnoustroje, które wywołują u ludzi ciężkie choroby i nie istnieją w stosunku do nich skuteczne metody profilaktyki lub leczenia.

¹⁾ Acc. to Rozporządzenie MZ [2005]: agents of the 3rd group of risk – microorganisms that may cause serious disease in humans, but there are effective prophylaxis or treatment against them, agents of the 4th group of risk – microorganisms that may cause serious disease in humans, but there are no effective prophylaxis or treatment against them.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: GAŚKA-JĘDRUCH, DUDZIŃSKA [2009] i GÓRNY [2004; 2009].

Source: own elaboration based on GAŚKA-JĘDRUCH, DUDZIŃSKA [2009] and GÓRNY [2004; 2009].

Wymienione propozycje wartości normatywnych zanieczyszczeń powietrza przez drobnoustroje (przedstawione w tabeli 3.) zostały opracowane na podstawie wyników pomiarów środowiskowych z uwzględnieniem potencjalnej szkodliwości określonych czynników biologicznych i mogą być traktowane jako norma fakultatywna lub wartości referencyjne w interpretacji wyników badań mikrobiologicznych powietrza [GÓRNY 2004a].

Żadne z obowiązujących obecnie w Polsce aktów prawnych i normatywnych dotyczących czynników biologicznych w powietrzu nie określają wartości progowych zanieczyszczeń (poza czynnikami 3. i 4. grupy), ponadto wszystkie dotyczą jedynie powietrza na stanowiskach pracy [Rozporządzenie MZ 2005; PN-EN 13098: 2007; PN-EN 14031: 2006; PN-EN 14042: 2010; PN-EN 14583: 2008].

PODSUMOWANIE

Obecność mikroorganizmów w powietrzu jest nieunikniona i może stanowić istotny problem zdrowotny, jednak – pomimo licznych badań mikrobiologicznych nad problematyką wpływu zanieczyszczeń powietrza na zdrowie człowieka – wciąż nie ma ogólnie przyjętych norm prawnych, odnoszących się do poszczególnych składników bioaerozoli, które jednoznacznie określałyby ich dopuszczalny poziom w powietrzu. Wyniki porównuje się obecnie z propozycjami dopuszczalnych wartości zaproponowanych przez różnych autorów i instytucji zajmujących się tą problematyką – dlatego też interpretacja wyników zawsze może budzić pewne zastrzeżenia, a wysunięte wnioski na podstawie wykonanych pomiarów środowiskowych mogą zostać podważone. Wobec przedstawionych danych słuszną wydaje się mobilizacja środowisk naukowo-badawczych mająca na celu opracowanie regulacji normatywnych dotyczących dopuszczalnych zawartości drobnoustrojów w powietrzu zarówno atmosferycznym, jak i wewnętrznym.

LITERATURA

- BARABASZ W., CHMIEL M.J., ALBIŃSKA D., MAZUR M.A. 2007. Składowiska odpadów jako źródła bioaerozolu i mikroorganizmów szkodliwych dla zdrowia. W: Składowiska odpadów komunalnych źródłem gazu. Konferencja Naukowo-Techniczna. Czarna 17–19.10.2007. Instytut Nafty i Gazu. Prace. Nr 145 s. 143–152.
- BREZA-BORUTA B. 2010. Ocena mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na terenie oczyszczalni ścieków. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 10. Z. 3(31) s. 49–57.
- CABRAL J.P.S. 2010. Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions. *Science of the Total Environment*. Vol. 408 s. 4285–4295.
- DACARRO C., PICCO A.M., GRISOLI P., REDOLFI M. 2003. Determination of aerial microbiological contamination in scholastic sports environment. *Journal of Applied Microbiology*. Vol. 95 Iss. 5 s. 904–912.
- FILIPPO DI P., POMATA D., RICCARDI C., BUIARELLI F., PERRINO C. 2013. Fungal contribution to size-segregated aerosol measured through biomarkers. *Atmospheric Environment*. Vol. 64 s. 132–140.
- FLANNIGAN B., SAMSON R.A., MILLER J.D. 2011. Microorganisms in home and indoor work environments. Diversity, health impacts, investigation and control. Wyd. 2. Londyn. CRC Press. ISBN 9781420093346 ss. 539.
- GĄSKA-JĘDRUCH U., DUDZIŃSKA M.R. 2009. Zanieczyszczenia mikrobiologiczne w powietrzu wewnętrznym. W: *Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*. Pr. zbior. Red. J. Ozonok, A. Pawłowski. T. 2. Lublin. PAN s. 31–40.
- GLADYSZ J., GRZESIAK A., NIERADKO-IWANICKA B., BORZECKI A. 2010. Wpływ zanieczyszczeń powietrza na stan zdrowia i spodziewaną długość życia ludzi. *Problemy Higieny i Epidemiologii*. T. 91. Nr 2 s. 178–180.
- GÓRNY R.L. 2004a. Biologiczne czynniki szkodliwe: normy, zalecenia i propozycje wartości dopuszczalnych. *Podstawy Metody Oceny Środowiska Pracy*. Nr 3 (41) s. 17–39.

- GÓRNY R.L. 2004b. Cząstki grzybów i bakterii jako składniki aerozolu pomieszczeń: właściwości, mechanizmy emisji, detekcja. Sosnowiec. Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego ss. 164.
- GÓRNY R.L. 2009. Aerozole biologiczne – rola normatywów higienicznych w ochronie środowiska i zdrowia. W: Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych. Red. S. Gutarowski. V Międzynarodowa Konferencja Naukowa. Łódź 11–15 maj 2009. Łódź. Wydaw. PŁ s. 91–102.
- HAMEED A.A., KHODER M.I., IBRAHIM Y.H., SAEED Y., OSMAN M.E., GHANEM S. 2012. Study on some factors affecting survivability of airborne fungi. *Science of the Total Environment*. Vol. 414 s. 696–700.
- KAISER K., WOLSKI A. 2007. Kontrola czystości mikrobiologicznej powietrza. *Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna*. Nr 4 s. 158–162.
- KILISZCZYK A., PODLASKA B., SADOWIEC K., ZIELIŃSKA-POLIT B., RYTEL M., RUSSEL S. 2013. Ocena występowania grzybów oraz amoniaku i metanu w powietrzu w wybranym budynku inwentarskim. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 13. Z. 3(43) s. 79–89.
- KIM K.H., JAHAN S.A., KABIR E. 2013. A review on human health perspective of air pollution with respect to allergies and asthma. *Environment International*. Vol. 59 s. 41–52.
- KRZYSZTOFIK B. 1992. *Mikrobiologia powietrza*. Warszawa. Ofic. Wydaw. PW ss. 199.
- KRZYŚKO-LUPICKA T. 2010. Zagrożenia mikologiczne w budownictwie – problem ogólnoswiatowy. W: *Problemy w ochronie środowiska w województwie opolskim w latach 2010–2020*. Pr. zbior. Red. K. Oszańca. Opole. Opolskie Ekoforum. *Atmoterms S.A.* s. 203–222.
- KUMMER V., THIEL W.R. 2008. Bioaerosols – sources and control measures. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. Vol. 211. Iss. 3–4 s. 299–307.
- LIANG L., ENGLING G., CHENG Y., DUAN F., DU Z., HE K. 2013. Rapid detection and quantification of fungal spores in the urban atmosphere by flow cytometry. *Journal of Aerosol Science*. Vol. 66 s. 179–186.
- ŁAWNICZEK A., GÓRNY R.L., WLAZŁO A., NIESLER A., HARKAWY A., LIS D., ŁUDZEŃ-IZBIŃSKA B. 2008. Zastosowanie mierników wolumetrycznych w monitoringu aerozoli biologicznych. *Ekologia i Technika*. R. 16. Nr 5A s. 90–94.
- MAINELIS G., ATIN ADHIKARI A., WILLEKE K., LEE S-A., REPONEN T., GRINSHPUN S.A. 2002. Collection of airborne microorganisms by a new electrostatic precipitator. *Journal of Aerosol Science*. Vol. 33 s. 1417–1432.
- PN-EN 13098: 2007. Powietrze na stanowiskach pracy – Wytyczne dotyczące pomiaru zawieszonych w powietrzu mikroorganizmów i endotoksyn. Warszawa. PKN.
- PN-EN 14031: 2006. Powietrze na stanowiskach pracy – Oznaczanie zawieszonych w powietrzu endotoksyn. Warszawa. PKN.
- PN-EN 14042: 2010. Przewodnik użytkowania i stosowanie procedur do oceny narażenia na czynniki chemiczne i biologiczne. Warszawa. PKN.
- PN-EN-14583: 2008. Powietrze na stanowiskach pracy – Wolumetryczne poborniki bioaerozolu – wymagania i metody testowania. Warszawa. PKN.
- PN-89/Z-04008/01. Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Postanowienia ogólne i zakres normy. Warszawa. PKN.
- PN-89/Z-04008/08. Ochrona czystości powietrza. Pobieranie próbek. Pobieranie próbek powietrza atmosferycznego (imisja) do badań mikrobiologicznych metodą aspiracyjną i sedymentacyjną. Warszawa. PKN.
- PN-89/Z-04111/02. Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną. Warszawa. PKN.

- PN-89/Z-04111/03. Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną. Warszawa. PKN.
- RINSOZ T., DUQUENNE P., GREFF-MIRGUET G., OPLIGER A. 2008. Application of real-time PCR for total airborne bacterial assessment: Comparison with epifluorescence microscopy and culture-dependent methods. *Atmospheric Environment*. Vol. 42 s. 6767–6774.
- 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. Dz.U. 2005. Nr 81 poz. 716 z późn. zm.
- RUSSEL S., PALUCHOWSKA-ŚWIĘCKA O. 2008. Wpływ temperatury na zawartość grzybów w powietrzu pomieszczeń użytkowania rolniczego. *Ekologia i Technika*. R. 16. Nr 5A s. 150–155.
- SESHADRI S., HAN T., KRUMINS V., FENNELL D. E., MAINELIS G. 2009. Application of ATP bioluminescence method to characterize performance of bioaerosol sampling devices. *Journal of Aerosol Science*. Vol. 40 s. 113–121.
- STETZENBACH L.D., BUTTNER M. P., CRUZ P. 2004 Detection and enumeration of airborne biocontaminants. *Current Opinion in Biotechnology*. Vol. 15 s. 170–174.
- WU Y., SHEN F., YAO M. 2010. Use of gelatin filter and Bio Sampler in detecting airborne H5N1 nucleotides, bacteria and allergens. *Journal of Aerosol Science*. Vol. 41 s. 869–879.
- YAMAMOTO N., SCHMECHEL D., CHEN B.T., LINDSLEY W.G., PECCIA J. 2011. Comparison of quantitative airborne fungi measurements by active and passive sampling methods. *Journal of Aerosol Science*. Vol. 42 s. 499–507.

Maria J. CHMIEL, Krzysztof FRĄCZEK, Jacek GRZYB

THE PROBLEMS OF MICROBIOLOGICAL AIR CONTAMINATION MONITORING

Key words: *air contamination, bacteria, bio-aerosol, fungi, microorganisms*

Summary

This study discusses the components of bio-aerosol – with particular emphasis on the microbiological contaminants (bacteria and fungi), their sources (natural and anthropogenic), spread and risks resulting from the presence of microorganisms in the indoor and atmospheric air. The paper presents examples of diseases transmitted by air and the problems associated with regular monitoring of microbiological contamination of the atmosphere. A part of the work is devoted to the methods of microbiological testing of air pollution and presents briefly chosen methods and discusses their advantages and disadvantages.

The last section presents problems with assessing the degree of air pollution by microorganisms resulting from the absence of applicable standards and other regulations related to the microbiological contamination of air, which would allow for unambiguous interpretation of research results.

Adres do korespondencji: dr hab. M.J. Chmiel, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Mikrobiologii, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków; tel. + 48 12 662-40-96, e-mail: Maria.Chmiel@ur.krakow.pl