

dr n. tech. MAŁGORZATA GOŁOFIT-SZYMCZAK
 dr n. med. MARCIN CYPROWSKI
 dr n. tech. ANNA ŁAWNICZEK-WAŁCZYK
 mgr inż. AGATA STOBNIKA
 dr hab. n. med. RAFAŁ L. GÓRNY, prof. nadzw. CIOP-PIB
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: magal@ciop.pl

Zanieczyszczenia mikrobiologiczne w instalacjach klimatyzacyjnych budynków

Fot. BackyardProductions/Bigstockphoto



Instalacje klimatyzacyjne są rozwiązaniem technicznym służącym poprawie jakości powietrza wewnętrznego. W miarę wydłużenia się okresu eksploatacji, instalacje klimatyzacyjne mogą ulegać zanieczyszczeniu i stanowić źródło mikrobiologicznego skażenia powietrza. Zarówno w nowych budynkach, jak i tych już od wielu lat eksploatowanych powinno być prowadzone monitorowanie stanu instalacji klimatyzacyjnych pod kątem ich sprawności technicznej i jakości higienicznej oraz okresowe ich czyszczenie i ewentualna dezynfekcja.

Słowa kluczowe: szkodliwe czynniki biologiczne, bakterie, grzyby, systemy klimatyzacyjne

Microbiological contamination of building air conditioning systems

Air conditioning systems are technical solution for improvement of indoor air quality. With the passage of time, ventilation systems may be contaminated and become one of the most active emission sources of microbial contaminants. In new buildings as well as in those already exploited for many years, a detailed monitoring of air conditioning systems including periodic cleaning and prospective disinfection should be carried out as an immanent part of technical performance and hygienic purity checking.

Keywords: harmful biological agents, bacteria, fungi, air conditioning systems

Wstęp

Klimatyzacja jest procesem nadawania powietrza pomieszczeń określonych parametrów i właściwości pożądanych ze względów higienicznych, z uwzględnieniem dobrego samopoczucia ludzi (tzw. klimatyzacja komfortowa) lub wartości parametrów wymaganych przez technologie produkcji (tzw. klimatyzacja przemysłowa). Instalacje

klimatyzacyjne są najdoskonalszą formą instalacji wentylacji mechanicznych, wyposażoną w zestaw urządzeń wszechstronnie uzdatniających powietrze. Są one w stanie utrzymać na wymaganym poziomie temperaturę, wilgotność, czystość oraz ruch powietrza w pomieszczeniu w ciągu całego roku, niezależnie od zmian i wahań parametrów powietrza występujących na zewnątrz budynku. W skład instalacji klimatyzacyjnych wchodzi

urządzenia wentylacyjne, komory zraszania oraz rozbudowany system do automatycznej regulacji temperatury i wilgotności powietrza [1].

Powietrze zewnętrzne czerpane do budynków wyposażonych w instalację klimatyzacyjną jest uzdatniane w celu eliminacji obecnych w nim zanieczyszczeń oraz zapewnienia optymalnej temperatury i wilgotności. Jedną z najczęściej stosowanych metod uzdatniania jest filtracja powietrza zewnętrznego na filtrach włókninowych przed jego wprowadzeniem do pomieszczeń. Częstki aerozolu niesione wraz z powietrzem zewnętrznym są częściowo zatrzymywane przez filtry powietrza umieszczone na wlocie do centrali danego systemu.

Efektywność oczyszczania powietrza przez filtry wstępne jest ograniczona. Ich głównym zadaniem jest bowiem ochrona urządzeń uzdatniających przed zanieczyszczeniami znajdującymi się w powietrzu zewnętrznym. Częstki, które nie zostały zatrzymane na filtrach wstępnych, mogą osiadać na powierzchniach urządzeń w centralach wentylacyjnych, wewnętrznych powierzchniach przewodów lub innych elementach instalacji wentylacyjnych, powodując ich zanieczyszczenie [2-4].

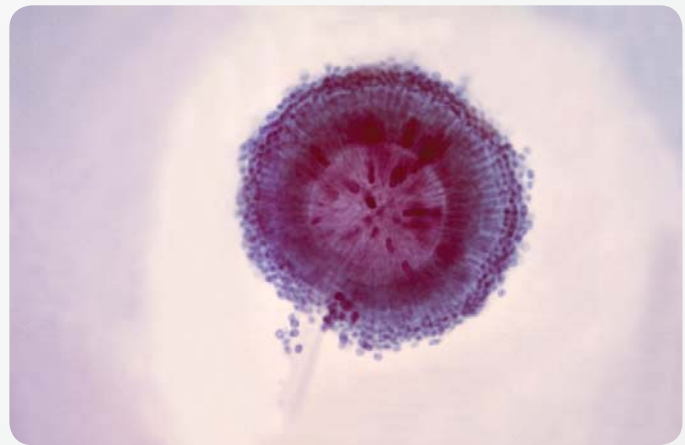
Szkodliwe czynniki biologiczne w instalacjach klimatyzacyjnych

W instalacjach klimatyzacyjnych panują zazwyczaj warunki korzystne do rozwoju szkodliwych czynników biologicznych (głównie bakterii i grzybów). Sprzyjają temu powierzchnie zanieczyszczone cząstkami pyłu, a także zwiększona wilgotność powietrza spowodowana przez konstrukcję kanałów wentylacyjnych, filtry powietrza, izolacje cieplne, tłumiki hałasu, chłodnice powietrza, itp. [5-6].

Do najczęściej izolowanych z instalacji klimatyzacyjnych drobnoustrojów bakteryjnych należą gatunki z rodzajów: *Legionella pneumophila*, *Bacillus* (*B. cereus*, *B. pumilus*), *Micrococcus* (*M. luteus*, *M. roseus*), *Staphylococcus* (*S. epidermidis*, *S. saprophyticus*, *S. hominis*, *S. capitis*),

Tabela 1. Wybrane elementy instalacji wentylacyjnych i mikroorganizmy je zasiedlające
 Table 1. Selected elements of ventilation systems and microorganisms responsible for their colonization

Elementy instalacji	Rodzaj mikroorganizmu
Powierzchnie przewodów	<i>Aspergillus</i> , <i>Acremonium</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Rhodotryla</i> , <i>Geotrichum</i> , <i>Mucor</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Brevibacterium</i>
Chłodnice powietrza	<i>Aspergillus</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Penicillium</i>
Odkraplacze, odwadnia- czy, zasyfonowania	<i>Legionella</i> , <i>Thermoactinomyces</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Alternaria</i> , <i>Acremonium</i> , <i>Sporobolomyces</i> , <i>Iteosolia</i>
Filtry	<i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Acremonium</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Chaetomium</i> , <i>Mucor</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Pseudomonas</i>
Wieże chłodnicze	<i>Legionella</i> , <i>Thermoactinomyces</i> , <i>Acremonium</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Aspergillus</i>
Nawilzacze, komory zraszania	<i>Acremonium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Phoma</i> , <i>Ulocladium</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Micropolyspora</i> , <i>Legionella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Serratia</i>



Rys. 1. *Aspergillus niger*, mikroskop świetlny, powiększenie 1000x (fot. PZB)

Fig. 1. *Aspergillus niger*, light microscope magnification 1000x

Pseudomonas, *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes* i promieniowce, a wśród grzybów gatunki z rodzajów *Penicillium* (*P. expansum*, *P. chrysogenum*, *P. commune*, *P. citrinum*), *Aspergillus* (w tym *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger*) (Rys.1), *Acremonium*, *Cladosporium*, *Alternaria* (*A. alternata*, *A. tenuissimum*) i *Fusarium* (*F. proliferatum*) [4, 6-8]. W tabeli 1. przedstawiono wybrane elementy instalacji klimatyzacyjnych i zasiedlające je mikroorganizmy [9].

Woda wykorzystywana w pracy systemów chłodniczych urządzeń klimatyzacyjnych z wpływem czasu może stać się doskonałym medium sprzyjającym rozmnażaniu się mikroorganizmów, m.in. grzybów z rodzaju *Acremonium* i *Penicillium* [2,10]. Elementy instalacji klimatyzacyjnych, generujące aerozol wodny (np. wieże chłodnicze, chłodnice, wymienniki wyparne, układy z komorą zraszania, układy ze zraszanymi wymiennikami płytowymi), co stwarza szczególnie dogodny warunki do rozwoju bakterii z rodzaju *Legionella* i ich rozprzestrzeniania.

Czynniki biologiczne a zdrowie człowieka

Inhalacja bioaerozoli może spowodować wystąpienie wielu niepożądanych skutków zdrowotnych ze strony układu oddechowego, począwszy od reakcji alergicznych (m.in. astma, alergiczne zapalenia), przez infekcje, po reakcje toksyczne (wywołane głównie przez mikotoksyny, składniki ściany komórkowej bakterii i grzybów oraz ich metabolity) oraz inne niespecyficzne objawy określone „syndromem chorego budynku” (ang. *sick building syndrome*, SBS), [11].

Występowanie i rozwój grzybów pleśniowych wiąże się z uwalnianiem do środowiska alergenów, mikotoksyn, lotnych związków organicznych i glukanów. Alergeny grzybów stanowią główną przyczynę chorób o podłożu atopowym. Grzyby pleśniowe, głównie z rodzajów *Aspergillus* (*A. candidus*, *A. flavus*, *A. repens*, *A. glaucus*), *Cladosporium* i *Penicillium* mogą stanowić szczególne zagrożenie dla zdrowia człowieka (rys. 1.), [12]. One to (wraz z gatunkami z rodzajów *Alternaria*, *Trichoderma* i *Mucor*) stanowią najczęstszą przyczynę alergii na pleśń. Kontakt z grzybami

pleśniowymi (np. z rodzaju *Aspergillus*) może być przyczyną reakcji alergicznych typu dychawica oskrzelowa, zapalenie spojówek, katar sienny lub alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych. Mikotoksyny, wnikając do organizmu człowieka drogą pokarmową, mogą przejawiać działanie toksyczne, rakotwórcze, teratogenne, mutagenne, immunosupresyjne i immunotoksyczne.

Narażenie na szkodliwe czynniki biologiczne uwalniające się z instalacji klimatyzacyjnych w pomieszczeniach może wpływać na intensywność symptomów „syndromu chorego budynku”, takich jak zmęczenie, brak koncentracji, bóle i zawroty głowy, podrażnienie błon śluzowych oczu i górnych dróg oddechowych, częstsze występowanie nieżytów dróg oddechowych, zmiany skórne, a niekiedy objawy zbliżone do astmy oskrzelowej. Spośród czynników biologicznych powodujących występowanie niekorzystnych reakcji zdrowotnych typu SBS największe znaczenie mają endotoksyny bakteryjne – będące składnikiem błony zewnętrznej bakterii Gram-ujemnych (odpowiedzialne głównie za reakcje zapalne), mikotoksyny (powodujące reakcje toksyczne) i spory grzybów (wywołujące reakcje alergiczne).

Ze schorzeniami powodowanymi przez instalacje klimatyzacyjne najczęściej kojarzona jest legioneloza (choroba legionistów) i gorączka Pontiac, wywołana przez Gram-ujemne pałeczki *Legionella pneumophila*. Legioneloza ma postać ciężkiego, szybko postępującego zapalenia płuc z wysoką gorączką (powyżej 40 °C), dreszczami, złym samopoczuciem, suchym kaszlem, biegunką, objawami neurologicznymi, uszkodzeniem wątroby, bradykardią.

Gorączka Pontiac charakteryzuje się łagodniejszym przebiegiem, podobnym do grypy [13]. Jednostką chorobową związaną z narażeniem na mikroorganizmy obecne w powietrzu pomieszczeń jest również tzw. „gorączka nawilżaczowa”. Obserwowane w tym przypadku objawy (dreszcze, bóle mięśni, podwyższona temperatura ciała, złe samopoczucie) związane są z czynnikiem etiologicznym, tj. grzybami z rodzajów *Penicillium*, *Cladosporium* i *Aspergillus* oraz endotoksyną bakterii z rodzaju *Flavobacterium* [10,12].

Kontrola stanu higienicznego instalacji klimatyzacyjnych

Zarówno w budynkach nowych, jak i od wielu lat eksploatowanych powinno być prowadzone monitorowanie stanu instalacji klimatyzacyjnych pod kątem ich sprawności technicznej i czystości.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z 29 czerwca 2012 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać pomieszczenia i urządzenia podmiotu wykonującego działalność leczniczą, instalacje i urządzenia wentylacji mechanicznej i klimatyzacji w obiektach służby zdrowia powinny podlegać okresowemu przeglądowi, czyszczeniu, dezynfekcji lub wymianie elementów instalacji zgodnie z zaleceniami producenta, nie rzadziej niż co 12 miesięcy [14]. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 16 czerwca 2003 r. w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej obliguje do usuwania zanieczyszczeń z przewodów dymowych i spalinowych obiektów budowlanych, co najmniej raz w roku, jeżeli większa częstość nie wynika z warunków użytkowych [15].

Zalecenia dotyczące częstości kontroli czystości systemów wentylacyjnych oraz metod czyszczenia instalacji można znaleźć w polskiej normie „Wentylacja budynków – Sieć przewodów – Czystość systemów wentylacji” [16]. Określono tu metody kontroli, ocenę ilościową zanieczyszczeń, ogólne wymagania i procedury niezbędne do oceny i utrzymywania czystości systemów wentylacyjnych przewodowych zarówno nowych, jak i już użytkowanych.

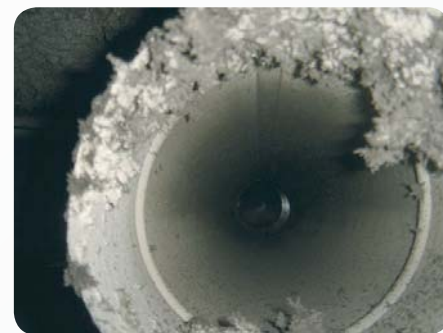
Ze względu na różnorodność taksonomiczną, w materiałach źródłowych rzadko pojawiają się propozycje dopuszczalnych stężeń mikroorganizmów w instalacjach wentylacyjnych. Jedną z takich propozycji, opracowaną przez badaczy z Włoch, przedstawiono w tabeli 2.

Konserwacja instalacji

Istotnym elementem eksploatacji instalacji klimatyzacyjnych jest regularna kontrola jakości higienicznej systemu wentylacyjnego oraz

Tabela 2. Stężenia mikroorganizmów (jtk/m³) w powietrzu wewnątrz instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych
 Table 2. Concentration of microorganisms (cfu/m³) in the air of ventilation and air conditioning systems

Mikroorganizmy	Stężenie	Ocena
Grzyby	patogenne	występowanie niedopuszczalne niezależnie od stężenia
	>50	niedopuszczalne w przypadku występowania tylko jednego rodzaju grzyba
	≤150	dopuszczalne w przypadku występowania większej liczby rodzajów grzybów
	≤300	dopuszczalne, jeśli głównymi rodzajami grzybów są <i>Cladosporium</i> lub <i>Philloplane</i>
Bakterie	patogenne	występowanie niedopuszczalne
	<50	bardzo niskie stężenie
	51-100	niskie stężenie
	101-500	średnie stężenie
	501-2000	wysokie stężenie
	>2000	bardzo wysokie stężenie



Rys. 2. Kanał wentylacyjny przed czyszczeniem (fot. Komfort Sp. z o.o.)

Fig. 2. Ventilation duct before cleaning



Rys. 3. Wentylator przed czyszczeniem (fot. Komfort Sp. z o.o.)

Fig. 3. The fan before cleaning



Rys. 4. Kanał wentylacyjny po czyszczeniu (fot. Komfort Sp. z o.o.)

Fig. 4. Ventilation duct after cleaning

okresowe jego czyszczenie, wymiana filtrów i ewentualnie dezynfekcja (rys. 2., 3.).

Proces czyszczenia instalacji powinien obejmować takie etapy, jak [2]:

- ocena wstępna występowania ewentualnych zanieczyszczeń – badania wizualne elementów instalacji (takich jak centralna jednostka uzdatniająca powietrze, wentylatory, tłumiki hałasu) oraz ocena czystości przewodów wentylacyjnych przy użyciu przyrządów inspekcyjnych (boroskopy sztywne i giętkie, kamery, wideoskopy, samojezdne pojazdy inspekcyjne), ocena ilościowa pyłu osadzonego w instalacji (wizualna, grawimetryczna), ocena zanieczyszczeń mikrobiologicznych na powierzchniach przewodów wentylacyjnych

- usunięcie zanieczyszczeń – metody mechaniczne (np. za pomocą szczotek na wałkach obrotowych, sprężonym powietrzem), ręczne czyszczenie szczotkami i wycieranie, czyszczenie suchym lodem, parą wodną, sprężonym powietrzem lub stosując ultradźwięki

- dezynfekcja – metody chemiczne (roztwory preparatów biobójczych) lub metody fizyczne (ozonowanie lub promieniowanie promieniami nadfioletowymi)

- kontrola końcowa (rys. 4.).

Podsumowanie

Jakość powietrza wewnętrznego od wielu lat stanowi przedmiot szczególnego zainteresowania zarówno naukowców, jak i użytkowników pomieszczeń. Systemy klimatyzacyjne mają

na celu poprawę stanu powietrza pomieszczeń. Nowoczesne instalacje klimatyzacyjne wśród swoich licznych prozdrowotnych aplikacji umożliwiają m.in. redukcję mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza, poprzez wieloetapową filtrację powietrza zewnętrznego na filtrach włókninowych przed jego wprowadzeniem do pomieszczeń.

Użytkownicy pomieszczeń wyposażonych w instalacje klimatyzacyjne powinni być pewni, że dostarczane przez nie powietrze jest dobrej jakości. Zarówno w budynkach nowych, jak i od dawna eksploatowanych powinno być prowadzone monitorowanie stanu instalacji klimatyzacyjnych pod kątem ich sprawności technicznej (np. stosowanie filtrów o odpowiedniej sprawności wychwyty cząstek, użytkowanie filtrów zgodnie z zaleceniami producenta) i jakości higienicznej (systematyczne czyszczenie lub dezynfekcja przewodów wentylacyjnych). Konieczne jest także okresowe ich czyszczenie i ewentualna dezynfekcja, co skutecznie przyczynia się do podwyższenia jakości mikrobiologicznej powietrza.

PIŚMIENICTWO

[1] Szymański T., Wasiluk W. *Systemy wentylacji przemysłowej*. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2000
 [2] Charkowska A. *Zanieczyszczenia w instalacjach klimatyzacyjnych i metody ich usuwania*. IPPU MASTA, Gdańsk 2003
 [3] Miałkiewicz-Pęska E. *Mikroorganizmy w osadach występujących w instalacjach wentylacyjno-klimatyzacyjnych*. [w:] „Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2007”, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007

[4] Zuraimi M.S. *Is ventilation duct clearing useful? A review of scientific evidence*. „Indoor Air” 2010, 20: 445-457

[5] Chang J.C.S., Foarde K.K., VanOsdell D.W. *Assessment of fungal (*Penicillium chrysogenum*) growth on three HVAC duct materials*. „Environment International” 1996, 22:425-431

[6] Charkowska A., Bogdan A. *Instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne – metody czyszczenia i dezynfekcji (2)*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2008, 445,10:16-17

[7] Gołofit-Szymczak M., Górny R.L. *Bacterial and fungal aerosols in air-conditioned office buildings in Warsaw, Poland – the winter season*. „JOSE” 2010,16:465-476

[8] Price D.L., Simmons R.B., Crow S.A., Ahearn D.G. *Mold colonization during use of preservative-treated and untreated air filters, including HEPA filters from hospitals and commercial locations over an 8-year period (1996-2003)*. „The Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology” 2005,32: 319-321

[9] Gołofit-Szymczak M., Jeżewska A., Ławniczek-Wałczyk A., Górny R.L. *Narazenie pracowników konserwujących instalacje wentylacyjne na szkodliwe czynniki biologiczne i chemiczne*. „Medycyna Pracy” 2012, 63,6:711-722

[10] Dutkiewicz J., Jabłoński L. *Biologiczne szkodliwości zawodowe*. PZWL, Warszawa 1989

[11] Skowroń J., Gołofit-Szymczak M. *Zanieczyszczenia mikrobiologiczne powietrza w środowisku pracy – źródła, rodzaje i oznaczanie*. „Bromatologia i Chemia Toksykologiczna” 2004,37 (1): 91-98

[12] Rylander R., Fogelmark B., Ewaldsson B. *Moldy environments and toxic pneumonitis*. „Toxicology & Industrial Health” 2008, 24:177-180

[13] Stypułkowska-Misiurewicz H., Pancer K. *Legionelloza – nowe zagrożenie w Polsce*. „Przegląd Epidemiologiczny” 2002,56:567-576

[14] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 29 czerwca 2012 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać pomieszczenia i urządzenia podmiotu wykonującego działalność leczniczą (DzU nr 12, poz. 739)

[15] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 16 czerwca 2003 r. w sprawie uzgadniania projektu budowlanego pod względem ochrony przeciwpożarowej (DzU nr 121, poz. 1136)

[16] PN-EN 15780:2011E Wentylacja budynków – Sieć przewodów – Czystość systemów wentylacji

[17] Cellai G. *La protezione delle condotte dell'aria ai fini della manutenzione. Documenti e riferimenti normativi in relazione all'IAQ. Seconda parte*. AICRR 1997; 8:789-795

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.