

Karolina Bródka¹, Małgorzata Sowiak¹
Anna Kozajda¹, Marcin Cyprowski², Irena Szadkowska-Stańczyk¹

CZYNNIKI BIOLOGICZNE WPŁYWAJĄCE NA JAKOŚĆ POWIETRZA W POMIESCZENIACH BIUROWYCH

BIOLOGICAL CONTAMINATION IN OFFICE BUILDINGS RELATED TO VENTILATION/AIR CONDITIONING SYSTEM

¹ Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
Zakład Środowiskowych Zagrożeń Zdrowia / Department of Environmental Health Hazards

² Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labour Protection –
National Research Institute, Warszawa, Poland
Zakład Zagrożeń Chemicznych Pyłowych i Biologicznych / Department of Chemical and Aerosol Hazards

STRESZCZENIE

Wstęp: Powietrze pomieszczeń zamkniętych jest zanieczyszczone drobnoustrojami pochodzącymi zarówno z powietrza atmosferycznego, jak i ze źródeł znajdujących się wewnątrz tych pomieszczeń. Celem projektu była analiza stężeń czynników biologicznych wpływających na jakość środowiska pracy w pomieszczeniach biurowych w zależności od systemu wentylacji/klimatyzacji i pory roku. **Materiał i metody:** Badaniem objęto budynki różniące się systemem wentylacji/klimatyzacji. Próby powietrza pobierano w sezonach letnim i zimowym, stacjonarnie, w wyznaczonych punktach budynków, przez 6 godzin, oceniając stężenia pyłu wdychalnego, endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów. Próby powietrza pobierano za pomocą przenośnych zestawów pomiarowych, składających się z pompki typu GilAir 5 i głowicy wypełnionej filtrem z włókna szklanego. Próby na obecność bakterii i grzybów z powietrza pobierano 2-krotnie w ciągu dnia pracy metodą zderzeniową za pomocą jednostopniowego próbnika powietrza Burkard Air Sampler, bezpośrednio na pożywki mikrobiologiczne. **Wyniki:** Średnie stężenia pyłu wdychalnego, bakterii, grzybów, endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów w powietrzu pomieszczeń biurowych wynosiły odpowiednio: 0,09 mg/m³, 6,00×10² jtk/m³, 4,89×10¹ jtk/m³, 0,42 ng/m³ i 3,91 ng/m³. Wyższe stężenia badanych czynników odnotowano latem. W pomieszczeniach wyposażonych w klimatyzację stwierdzono istotnie niższe stężenia grzybów, (1→3)-β-D-glukanów i wdychalnej frakcji pyłu w sezonie zimowym. Latem tendencja była odwrotna z wyjątkiem stężeń (1→3)-β-D-glukanów. **Wnioski:** Na stężenia czynników biologicznych obecnych w powietrzu pomieszczeń biurowych mają wpływ pora roku oraz wyposażenie pomieszczenia w klimatyzację. Latem wewnątrz pomieszczeń biurowych obserwuje się istotnie wyższe niż zimą stężenia pyłu wdychanego, bakterii, grzybów, endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów. Obecność klimatyzacji w różnym stopniu modyfikuje poziomy stężeń badanych czynników biologicznych, przy czym odgrywa ona większą rolę w przypadku stężeń grzybów i (1→3)-β-D-glukanów niż stężeń bakterii i endotoksyn. Med. Pr. 2012;63(3):303–315

Słowa kluczowe: pomieszczenia biurowe, endotoksyny, (1→3)-β-D-glukany, stężenie drobnoustrojów

ABSTRACT

Background: Indoor air is contaminated with microorganisms coming from both the atmospheric air and sources present in premises. The aim of this study was to analyze the concentrations of biological agents in office buildings, depending on ventilation/air conditioning system and season. **Materials and Methods:** The study covered office buildings (different in the system of ventilation/air conditioning). Air samples for assessing the levels of inhalable dust, endotoxins and (1→3)-β-D-glucans, were taken at the selected stationary points of each building during summer and winter. The air was sampled for 6 h, using portable sets consisting of the GilAir 5 pump and the head filled with a filter of fiber glass. The samples for the presence of airborne bacteria and fungi were collected twice during the day using the impaction method. **Results:** Average concentrations of inhalable dust, bacteria, fungi, endotoxins and (1→3)-β-D-glucans in office premises were 0.09 mg/m³, 6.00×10² cfu/m³, 4.89×10¹ cfu/m³, 0.42 ng/m³ and 3.91 ng/m³, respectively. Higher concentrations of the investigated agents were found in summer. In premises with air conditioning concentrations of airborne fungi, (1→3)-β-D-glucans and inhalable dust were significantly lower in winter. In summer the trend was reverse except for (1→3)-β-D-glucans. **Conclusions:** Concentrations of biological agents were affected by the season and the presence of air conditioning. Concentrations of inhalable dust, bacteria, fungi, endotoxins and (1→3)-β-D-glucans, observed inside the office buildings, were significantly higher in summer than in winter. The presence of the air conditioning system modified in various ways the levels of biological agents. Its influence was greater on the concentration of fungi and (1→3)-β-D-glucans than on that of bacteria and endotoxins. Med Pr 2012;63(3):303–315

Key words: office space, endotoxins, (1→3)-β-D-glucans, microorganisms concentration

Adres 1. autorki: Zakład Środowiskowych Zagrożeń Zdrowia, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera,
ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: kbrodka@imp.lodz.pl
Nadesłano 25 stycznia 2012, zatwierdzono 27 lutego 2012

WSTĘP

Szkodliwe czynniki biologiczne stanowią ważny problem zarówno w medycynie pracy, jak i zdrowiu publicznym (1). Szacuje się, że narażenie tego typu występuje w co najmniej 148 specjalistycznych grupach zawodowych należących do 22 kategorii dużych gałęzi gospodarki (2). Niestety do chwili obecnej nie ma prawnie obowiązujących normatywów higienicznych, które są warunkiem zachowania właściwego stanu środowiska zarówno pracy, jak i pozazawodowego, a także jego właściwej kontroli i oceny (3). Jednym z powodów jest ciągle niedoszacowanie narażenia na czynniki biologiczne, które mogą oddziaływać na zdrowie pracowników w sposób bardzo złożony.

Mnogość czynników o różnym sposobie oddziaływania na organizm człowieka sprawia, że utrudniona jest ocena wywoływanych przez nie skutków zdrowotnych. O ile działanie pojedynczych czynników biologicznych (np. o charakterze infekcyjnym) zostało już dobrze poznane, o tyle niewiele jest jeszcze wiadomo o ewentualnych synergistycznych skutkach oddziaływania różnych bakterii, grzybów czy uwalnianych przez nie toksyn. Czynniki biologiczne o różnym pochodzeniu mogą powodować występowanie podobnych objawów chorobowych u osób narażonych. Przykładem złożonych skutków narażenia na zróżnicowane czynniki szkodliwe jest tzw. zespół chorego budynku (sick building syndrome – SBS), który występuje w pomieszczeniach biurowych oraz budynkach z oznakami zawilgocenia lub/i zagrzybienia (4–7).

Według dostępnych danych szacuje się, że w Polsce blisko 30% populacji czynnej zawodowo wykonuje pracę o charakterze biurowym. Mimo to w pomieszczeniach, gdzie taka praca się odbywa, nie prowadzi się systematycznych pomiarów mających na celu identyfikację jakościową i ilościową czynników szkodliwych (8). Zespół chorego budynku może się wiązać z występowaniem u pracowników biurowych schorzeń o charakterze specyficznym (infekcyjnym, immunologicznym, alergicznym) oraz niespecyficznym (ból i zawroty głowy, nienaturalne zmęczenie, suchość lub podrażnienie błon śluzowych, utrudnione oddychanie, przesuszenie i/lub zaczerwienienie skóry, złuszczenie naskórka na twarzy, rękach i uszach) (9). Ze względu na tak złożony charakter zgłaszanych dolegliwości ważna jest dokładna identyfikacja czynników narażenia.

Praca w pomieszczeniach biurowych należy do tej kategorii prac, w których pracownicy mogą być narażeni na czynniki biologiczne o zróżnicowanych i trud-

nych do ustalenia źródeł. Mogą pochodzić zarówno z powietrza atmosferycznego, skąd zarodniki i strzępki grzybni przechodzą do wnętrza budynków, jak i różnego typu materiałów obecnych w samym budynku. Źródłem mogą być także sami zatrudnieni. Pracownicy mają kontakt z dużą liczbą dokumentów w formie papierowej, które są gromadzone w segregatorach, w miejscach, w których mogą panować warunki sprzyjające rozwojowi grzybów pleśniowych (10). Możliwość wzrostu i rozprzestrzeniania się drobnoustrojów w pomieszczeniach jest w znacznym stopniu determinowana przez temperaturę i wilgotność. Znaczna część nowo budowanych budynków jest wyposażana w systemy klimatyzacyjne, w których mogą rozwijać się grzyby pleśniowe i bakterie (np. z rodzaju *Legionella*). Rozprzeczane przez powietrze zwiększają ryzyko dla zdrowia zatrudnionych pracowników (11).

W Polsce w badaniach czynników biologicznych w pomieszczeniach biurowych koncentrowano się przede wszystkim na analizie ilościowej i jakościowej bakterii i grzybów (10,12–14). Opublikowane wyniki wskazują na obecność w próbach powietrza grzybów z rodzajów: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, a także drożdżaków z rodzaju *Candida*. Są wśród nich drobnoustroje zaliczane do 2. grupy ryzyka na podstawie Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych (15). Mikroflora bakteryjna jest uboższa i dominują w niej bakterie Gram-dodatnie (*Micrococcus* spp., *Staphylococcus* spp., *Bacillus* spp.). Potwierdzają to wyniki uzyskane przez wielu autorów z Europy, Stanów Zjednoczonych i Chin, którzy zajmują się określeniem składu jakościowego aerozoli: bakteryjnego i grzybowego obecnych w powietrzu pomieszczeń biurowych (16–22).

Występowanie i rozwój w pomieszczeniach biurowych niektórych gatunków bakterii i grzybów wiąże się także z obecnością w powietrzu immunotoksycznych substancji wytwarzanych przez te mikroorganizmy, do których należą: endotoksyny, mikotoksyny, glukany, lotne związki organiczne (volatile organic compounds – VOC) czy peptydoglikan (1,23). Endotoksyny i (1→3)-β-D-glukany są produktami rozpadu ściany komórkowej odpowiednio: bakterii Gram-ujemnych oraz grzybów. Oddziaływanie endotoksyn na układ oddechowy ma głównie charakter prozapalny i/lub toksyczny. Efektem ekspozycji na ten związek są zaburzenia czynnościowe dróg oddechowych. Odgrywają one istotną rolę w rozwoju niealergicznym chorób układu oddechowego i zaostrzają przebieg procesów alergicznych (24,25).

(1→3)-β-D-glukany podobnie jak endotoksyny, indukują w układzie oddechowym proces zapalny, powodując wzrost limfocytów we krwi (26,27).

Prace dotyczące poziomów endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów obecnych w powietrzu pomieszczeń biurowych w porównaniu z ilościową i jakościową analizą mikrobiologiczną są nieliczne (28–32). Do tej pory w Polsce nie prowadzono badań mających na celu określenie stężeń endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów w powietrzu pomieszczeń biurowych.

Celem analiz przedstawionych w niniejszym artykule była higieniczna ocena warunków pracy w pomieszczeniach biurowych pod kątem czynników biologicznych z uwzględnieniem pory roku oraz wyposażenia tych pomieszczeń w klimatyzację. Oceny dokonano na podstawie uzyskanych wartości stężeń bakterii i grzybów oraz ich toksycznych produktów (endotoksyn, (1→3)-β-D-glukanów), a także stężeń pyłu wdychalnego jako nośnika mikroorganizmów.

MATERIAŁ I METODY

Budynki objęte badaniem

Badaniem objęto 4 niezależne instytucje, zarządzające w sumie 6 budynkami, w których wykonywana jest praca o charakterze biurowym. Jeden budynek wyposażony był w centralny system klimatyzacyjny, w pozostałych oprócz klimatyzatorów lokalnych w kilku pomieszczeniach funkcjonowała wentylacja grawitacyjna.

Strategia poboru prób powietrza

Strategia pomiarowa została oparta na zapisach Polskich Norm (33,34). Badaniem objęto czynniki biologiczne przenoszone drogą powietrzną. W tym celu opracowano strategię poboru prób pyłu, która pozwoliła ocenić stężenia pyłu wdychalnego, bakterii, grzybów, endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów.

W każdym z 6 badanych budynków wyznaczono 4 punkty (pomieszczenia) stacjonarnego poboru prób. Badania prowadzono w 2 seriach pomiarowych – letniej i zimowej. Podczas badania w pomieszczeniach biurowych pobrano łącznie 48 prób powietrza, w których oznaczano stężenia pyłu wdychalnego, endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów (24 próby w letniej i 24 w zimowej serii pomiarowej). W każdym budynku próby na obecność bakterii i grzybów pobrano na początku i pod koniec dnia pracy w 2 powtórzeniach. Łącznie pobrano po 96 prób powietrza (48 prób w lecie i 48 w zimie) dla każdej z badanych grup mikroorganizmów. W analizie wykorzystano średnie stężenia drobnoustrojów uży-

skane z 2 pomiarów – przed dniem pracy i pod jego koniec. Dodatkowo w każdym dniu pomiarowym pobierano próby tła (powietrza zewnętrznego) w bezpośrednim sąsiedztwie badanego budynku. Pobrano łącznie 10 prób powietrza, z których oznaczano stężenia pyłu wdychalnego, endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów (5 prób latem i 5 zimą) oraz po 12 prób powietrza dla każdej z badanych grup drobnoustrojów (6 prób latem i 6 zimą).

Próby pyłu wdychalnego pobierano za pomocą zestawu pompka – głowica z filtrem. Każdy zestaw składał się z pompki typu GilAir 5 (Sensidine, USA), elastycznego wężyka i głowicy pomiarowej typu Button Sampler (SKC, USA), w której zainstalowano filtr z włókna szklanego GF/F (Whatman, UK) o średnicy 25 mm. Zestaw pracował przy przepływie powietrza 4 l/min i umieszczony był na wysokości strefy oddychania pracowników, ok. 1,2 m od podłogi. Zestaw pomiarowy był kalibrowany każdorazowo przed pomiarami. Do oceny stężeń pyłu wdychalnego zastosowano metodę wagową. Każdy filtr ważono w laboratorium przed zakończeniem i po zakończeniu pomiarów z użyciem wagi CP 225D (Sartorius, Niemcy). Każdą próbę pobierano przez 6 godzin. Pobrane próby pyłu posłużyły do oznaczenia stężeń endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów. Wszystkie filtry zostały zamrożone i do czasu analiz były przechowywane w temperaturze -20°C.

Analiza stężeń endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów

Zamrożone filtry poddano eluacji w 10 ml wody LAL (Limulus Amebocyte Lysate, Cambrex, USA) z dodatkiem 0,05% Tween 20 (Sigma, Polska). Próby wytrząsano przez 15 min, a następnie wirowano przy 1000×G przez 15 min. Z uzyskanego supernatantu pobrano 1,8 ml eluatu, który wykorzystano do analizy endotoksyn i frakcji (1→3)-β-D-glukanów rozpuszczalnej w wodzie. Do pozostałej części supernatantu dodano 10M NaOH (Sigma, Polska), aby otrzymać roztwór o stężeniu 0,3 M NaOH. Tak przygotowane próby wytrząsano przez 10 min w temperaturze 4°C, po czym wirowano przy 1000×G przez 15 min. Uzyskany supernatant posłużył do analizy frakcji (1→3)-β-D-glukanów rozpuszczalnej w alkaliach.

Wartości stężeń endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów określono za pomocą czytnika spektrofotometrycznego SpectraMax Plus384 (Molecular Devices, USA).

Analizę endotoksyn przeprowadzono z wykorzystaniem testu LAL w wersji kinetycznej, chromogennej Kinetic-QCL. Po dodaniu na apirogenną, 96-dółkową mikropłytkę równych ilości (po 100 μl) prób oraz liza-

tu LAL odczytano wartości stężeń endotoksyn, stosując falę świetlną o długości 405 nm oraz stałą temperaturę 37°C. Wyniki uzyskano, porównując próby z krzywą standardową, która została sporządzona w oparciu o kolejne 2-krotne rozcieńczenia endotoksyny wzorcowej *Escherichia coli* 055:B5 o aktywności 11 EU/ng. Wartości stężeń endotoksyn przedstawiono w ng/m³.

Analizę (1→3)-β-D-glukanów przeprowadzono oddzielnie dla obydwu wyeluuowanych frakcji, tj. rozpuszczalnej w wodzie oraz rozpuszczalnej w alkaliach. Oznaczenie wykonano za pomocą testu GlucateLL w wersji kinetycznej (Associates of Cape Cod Inc., USA). Po dodaniu do każdego dołka mikro płytki 25 μl prób oraz 50 μl odczynnika, stosując fale świetlne o długości 405 nm i 490 nm oraz stałą temperaturę 37°C, określono wielkości stężeń (1→3)-β-D-glukanów. Wyniki uzyskano, porównując próby z krzywą standardową, sporządzoną w oparciu o kolejne, 2-krotne rozcieńczenia wzorca (1→3)-β-D-glukanu. Całkowite stężenie (1→3)-β-D-glukanów stanowiło sumę 2 oznaczonych frakcji. Wartości stężeń przedstawiono w ng/m³.

Oznaczanie bakterii i grzybów – analiza ilościowa

Podstawę oceny ekspozycji na bakterie i grzyby stanowiły próby powietrza pobrane metodą zderzeniową z użyciem jednostopniowego przenośnego pobornika powietrza na płytki agarowe firmy Burkard (Burkard Manufacturing Company Ltd, UK), pracującego przy przepływie 20 l/min. Strategia pomiarowa została oparta na zapisach Polskich Norm (33,34). Pobór prób miał charakter stacjonarny, a część aspiracyjna pobornika była umieszczona w strefie oddychania pracowników, tj. na wysokości około 1,2 m od podłoża. Przed poborem prób wewnątrz pobornika dezynfekowano za pomocą jałowych gazików nasączonych 70% alkoholem izopropylowym (Leko, Lek SA, Polska). Próby pobierano w 2 powtórzeniach dla każdego wybranego punktu pomiarowego (2 min, 5 min). Poboru dokonywano bezpośrednio na pożywki mikrobiologiczne. Na potrzeby analizy bakterii próby pobierano na agar z nystatyną i aktidionem (ogólna liczba bakterii mezofilnych), podłoże Columbia Agar z 5-procentowym dodatkiem krwi baraniej (ogólna liczba bakterii Gram-dodatnich) oraz podłoże MacConkey Agar (ogólna liczba bakterii Gram-ujemnych), a próby na obecność grzybów – na podłoże Malt Extract Agar (MEA) z chloramfenikolem i streptomycyną (GRASO, Polska).

W celu oznaczenia ogólnej liczby bakterii mezofilnych próby (agar odżywczy z nystatyną i aktidionem) inkubowano przez 48 godzin w temperaturze 30°C,

a następnie 24 godziny w temperaturze 37°C. W przypadku ogólnej liczby bakterii Gram-dodatnich (podłoże Columbia Agar z 5-procentowym dodatkiem krwi baraniej) i Gram-ujemnych (podłoże MacConkey Agar) czas inkubacji wynosił 48 godzin w temperaturze 37°C. W celu oznaczenia ogólnej liczby mezofilnych grzybów próby (podłoże MEA z chloramfenikolem i streptomycyną) inkubowano przez 5 dni w temperaturze 30°C. Po okresie inkubacji kolonie liczone i po uwzględnieniu poprawki statystycznej wyniki podawano jako jednostki tworzące kolonie w 1 m³ powietrza (jtk/m³).

Analiza statystyczna

Wnioskowanie statystyczne oparto na dwustronnych testach istotności przy poziomie istotności $p < 0,05$. Narażenie na pył wdychalny, mikroorganizmy, endotoksyny i (1→3)-β-D-glukany obecne w powietrzu badanych pomieszczeń scharakteryzowano przy użyciu średnich geometrycznych, geometrycznego odchylenia standardowego oraz zakresu obserwowanych wartości. Do oceny wpływu sezonu na poziomy czynników biologicznych zastosowano jednoczynnikowy model regresji liniowej, przy czym zmienne zależne poddano transformacji logarytmicznej. W celu zbadania zależności między zmiennymi opisującymi narażenie w badanych pomieszczeniach obliczono współczynniki korelacji Spearmana.

WYNIKI

Stężenia badanych czynników w powietrzu wewnątrz pomieszczeń z uwzględnieniem pory roku i obecności w nich klimatyzacji oraz powietrzu zewnętrznym (tł) przedstawiono w tabeli 1. Wyniki jednoczynnikowej analizy korelacji stężeń czynników biologicznych przedstawiono w tabeli 2.

Pył wdychalny

Wykazano, że zakres stężeń frakcji wdychalnej pyłu w badanych pomieszczeniach biurowych mieścił się w granicach 0,01–0,99 mg/m³, przy średniej geometrycznej równej 0,09 mg/m³. Latem średnie stężenie tej frakcji pyłu w powietrzu badanych budynków wynosiło 0,11 mg/m³ i było istotnie wyższe niż zimą, kiedy kształtowało się na poziomie 0,07 mg/m³ ($p < 0,05$). Średnie stężenie pyłu wdychalnego w tle wynosiło 0,08 mg/m³, a jego poziom – 0,02–0,26 mg/m³. Analiza statystyczna wykazała brak istotnych różnic między stężeniami pyłu w powietrzu pomieszczeń biurowych a stężeniami w powietrzu zewnętrznym ($p > 0,05$).

Tabela 1. Charakterystyka czynników obecnych w powietrzu pomieszczeń biurowych (w zależności od sezonu, obecności klimatyzacji) oraz w powietrzu zewnętrznym (tle)
Table 1. Characteristics of agents present in the air of offices depending on the season, the presence of air conditioning and outdoor air

Czynnik Agent	Miejsce poboru prób Location of sampling	Lato Summer			Zima Winter			Ogółem Total						
		N ¹	GM	GSD	zakres range	p ¹	p ³	GM	GSD	zakres range				
Stężenie pyłu wdychanego / Concentration of inhalable dust [mg/m ³]	pomieszczenie bez klimatyzacji / premises without air conditioning	18	0,11	2,65	0,03–0,99	0,67	0,09	1,75	0,02–0,20	< 0,01				
		6	0,13	2,28	0,07–0,66		0,03	2,96	0,01–0,11					
		24	0,11	2,52	0,03–0,99		0,07	2,32	0,01–0,20	0,04		48	0,09	2,50
Stężenie bakterii ogółem [jtk/m ³] / Concentration of total bacteria [cfu/m ³]	tło / outdoor	5	0,09	2,57	0,03–0,26		0,07	1,97	0,02–0,12		10	0,08	2,22	0,02–0,26
		36	935,92	1,56	466,13–2 488,25	0,73	376,26	2,15	75–2 367,38	0,999				
		12	1027,9	2,36	480–4 571,75		376,11	2,91	64,75–1 614,38					
Stężenie bakterii Gram-dodatnich [jtk/m ³] / Concentration of Gram-positive bacteria [cfu/m ³]	pomieszczenie z klimatyzacją / premises with air conditioning	48	958,10	1,74	466,13–4 571,75		376,20	2,28	64,75–2 367,38	< 0,01	96	600,39	2,32	64,75–4 571,75
		6	473,96	2,94	150,75–3 339,75	0,03	52,494	3,424	15–361,5		12	157,73	4,92	15,00–3 339,75
		36	700,04	1,69	314,13–2 097,25	0,71	324,75	2,10	66,75–1 247,75	0,92				

48	173,67	1,72	59,17-564,38	13,78	5,01	2-5 111,75	< 0,01	96	48,92	5,74	2,00-5 111,75
wszystkie pomiary w sezonie / all premises in season											
6	296,13	1,81	110-541	0,04	21,93	2-536		12	80,59	7,58	2,00-541
tł / outdoor											
18	5,94	3,37	0,45-46,56	0,54	2,20	1,66-22,40	< 0,01				
Stężenie (1→3)-β-D-glukanów / bez klimatyzacji / premises without air conditioning / Concentration of (1→3)-β-D-glucans [ng/m ³]											
6	4,15	3,55	1,62-52,53	1,29	1,42	0,78-1,84					
pomieszczenie z klimatyzacją / premises with air conditioning											
24	5,43	3,36	0,45-52,53	2,82	2,31	0,78-22,40	0,035	48	3,91	2,95	0,45-52,53
wszystkie pomiary w sezonie / all premises in season											
5	6,55	3,25	1,55-22,97	0,75	4,086	1,56-17,94		10	5,17	3,04	1,55-22,97
tł / outdoor											

GM – średnia geometryczna / geometric mean.

GSD – geometryczne odchylenie standardowe / geometric standard deviation.

N¹ – liczba pomiarów w sezonie / number of measurements in season.

N² – liczba pomiarów ogółem / total number of measurements.

p¹ – poziom istotności statystycznej dla pomiarów z klimatyzacją vs dla pomiarów bez klimatyzacji / the level of statistical significance for premises with air conditioning vs. premises without air conditioning.

p² – poziom istotności statystycznej dla pomiarów latem vs dla wszystkich pomiarów zimą / the level of statistical significance for all premises in summer vs. all premises in winter.

p³ – poziom istotności statystycznej dla powietrza wewnątrz pomieszczeń vs dla powietrza na zewnątrz pomieszczeń / the level of statistical significance for indoor air vs. outdoor air.

Tabela 2. Współczynniki korelacji między badanymi czynnikami
Table 2. Correlation coefficients between the agents

Czynnik Agent	Współczynnik korelacji Correlation coefficients					
	1	2	3	4	5	
Stężenie pyłu wdychalnego / Concentration of inhalable dust [mg/m ³]	1					
Stężenie bakterii ogółem [jtk/m ³] / Concentration of total bacteria [cfu/m ³]	2	-0,27				
Stężenie bakterii Gram-dodatnich [jtk/m ³] / Concentration of Gram-positive bacteria [cfu/m ³]	3	-0,29*	0,97*			
Stężenie endotoksyn / Concentration of endotoxins [ng/m ³]	4	0,37*	0,36*	0,30*		
Stężenie grzybów [jtk/m ³] / Concentration of total fungi [cfu/m ³]	5	0,19	0,48*	0,41*	0,50*	
Stężenie (1→3)-β-D-glukanów / Concentration of (1→3)-β-D-glucans [ng/m ³]	6	0,53*	0,07	-0,01	0,47*	0,36*

* $p < 0,05$.

Cecha pomieszczenia, jaką jest obecność klimatyzacji lub jej brak, miała istotny wpływ na wielkość stężeń wdychalnej frakcji pyłu, przy czym zależność ta była istotna tylko zimą. W sezonie zimowym średnie stężenie pyłu wdychalnego w pomieszczeniach bez klimatyzacji wynosiło 0,09 mg/m³ i było 3-krotnie wyższe niż w pomieszczeniach z klimatyzacją (średnia geometryczna: 0,03 mg/m³) ($p < 0,05$). Latem nieznacznie wyższe średnie stężenie pyłu wdychalnego występowało w pomieszczeniach klimatyzowanych, jednak różnice te nie wykazywały istotności statystycznej ($p > 0,05$).

Jednoczynnikowa analiza statystyczna korelacji poziomów pyłu wdychalnego z wartościami stężeń poszczególnych czynników biologicznych wykazała istotne statystycznie dodatnie korelacje z poziomami endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów ($p < 0,05$). Nie potwierdzono takiego kierunku zależności w odniesieniu do stężeń bakterii. W przypadku bakterii Gram-dodatnich stwierdzono istotnie ujemną korelację ze stężeniami pyłu. Stężenia grzybów nie były związane ze stężeniami pyłu wdychalnego w sposób istotny statystycznie ($p > 0,05$) (tab. 2).

Bakterie

Ponieważ na podłożu MacConkeya tylko w nielicznych próbach wyhodowano pojedyncze kolonie bakterii Gram-ujemnych, uznano, że stanowią znikome narażenie dla pracowników pomieszczeń biurowych i nie prowadzono ich dalszej analizy. Stężenia bakterii mezofilnych ogółem mieściły się w granicach $6,48 \times 10^1$ – $4,57 \times 10^3$ jtk/m³ ze średnią wartością geometryczną równą $6,00 \times 10^2$ jtk/m³. Dla bakterii Gram-dodatnich zakres obejmował stężenia od $5,5 \times 10^1$ do $3,01 \times 10^3$ jtk/m³ ze średnią wartością równą $4,86 \times 10^2$ jtk/m³. Odnosnie

do pór roku stwierdzono, że średnie stężenia bakterii mezofilnych ogółem obecnych w powietrzu badanych budynków wynosiły $9,58 \times 10^2$ dla serii letniej i $3,76 \times 10^2$ jtk/m³ dla zimowej serii pomiarowej. Dla bakterii Gram-dodatnich wartości średnich stężeń były równe $7,19 \times 10^2$ latem i $3,28 \times 10^2$ jtk/m³ zimą.

Stężenia bakterii ogółem w powietrzu zewnętrznym mieściły się w granicach $1,5 \times 10^1$ – $3,34 \times 10^3$ jtk/m³ ze średnią wartością geometryczną równą $1,58 \times 10^2$ jtk/m³. Dla bakterii Gram-dodatnich zakres obejmował stężenia od $3,0 \times 10^1$ do $9,81 \times 10^2$ jtk/m³ ze średnią wartością równą $1,33 \times 10^2$ jtk/m³.

Analiza wykazała, że zarówno latem, jak i zimą średnie stężenia bakterii ogółem i bakterii Gram-dodatnich uzyskane wewnątrz pomieszczeń biurowych były istotnie wyższe w stosunku do średnich stężeń uzyskanych w próbach z tła ($p < 0,05$). Porównanie średnich stężeń drobnoustrojów dla różnych pór roku wykazało, że aerozol bakteryjny charakteryzował się istotnie niższymi stężeniami w okresie zimowym ($p < 0,05$). Biorąc pod uwagę brak lub obecność w badanym pomieszczeniu systemu klimatyzacyjnego, nie znaleziono istotności statystycznej między stężeniami bakterii w obu typach pomieszczeń ($p > 0,05$).

Na podstawie jednoczynnikowej analizy statystycznej korelacji stężeń czynników biologicznych stwierdzono, że poziomy stężenie bakterii ogółem i bakterii Gram-dodatnich korelowały dodatnio ze stężeniami grzybów oraz endotoksyn ($p < 0,05$).

Endotoksyny

Stężenia endotoksyn w badanych pomieszczeniach mieściły się w granicach 0,09–9,19 ng/m³, ze średnią wartością geometryczną równą 0,42 ng/m³.

Rozpatrując pory roku, w których odbywały się pomiary, stwierdzono, że średnie stężenia endotoksyn obecnych w powietrzu badanych budynków wynosiły 0,75 dla letniej i 0,23 ng/m³ dla zimowej serii pomiarowej.

Wartości stężeń endotoksyn w powietrzu na zewnątrz budynków biurowych zawarte były w granicach 0,20–0,67 ng/m³ ze średnią wartością geometryczną równą 0,36 ng/m³.

Różnice między stężeniami endotoksyn uzyskanymi wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń biurowych były niewielkie i nie wykazywały istotności statystycznej ($p > 0,05$). Średnie stężenie endotoksyn było istotnie niższe w okresie zimowym ($p < 0,05$) (tab. 1). Obecność w badanych pomieszczeniach klimatyzacji nie wpływała istotnie statystycznie na stężenia endotoksyn tak zimą, jak i latem (tab. 1). Stężenia endotoksyn dodatkowo korelowały ze stężeniami wszystkich pozostałych, podanych analizie czynników biologicznych ($p < 0,05$) (tab. 2).

Grzyby

Wykazano, że zakres stężeń grzybów mezofilnych ogółem w badanych pomieszczeniach biurowych mieścił się w granicach $2,0\text{--}5,11 \times 10^3$ jtk/m³, przy średniej geometrycznej wartości równej $4,89 \times 10^1$ jtk/m³. Latem średnie stężenie tych drobnoustrojów w powietrzu badanych budynków wynosiło $1,74 \times 10^2$ jtk/m³ i było istotnie wyższe niż zimą, kiedy kształtowało się na poziomie $1,38 \times 10^1$ jtk/m³ ($p < 0,05$).

Porównanie stężeń drobnoustrojów dla różnych pór roku wykazało, że aerozol grzybowy charakteryzował się istotnie niższym stężeniem w okresie zimowym ($p < 0,05$).

Średnie stężenie tych drobnoustrojów wynosiło $8,1 \times 10^1$ jtk/m³. Poziomy grzybów ogółem w powietrzu zewnętrznym zawarte były jednak w znacznie węższym zakresie niż dla pomieszczeń biurowych – $2,0\text{--}5,41 \times 10^2$ jtk/m³. Analiza statystyczna wykazała istotną różnicę między stężeniem tych drobnoustrojów w powietrzu pomieszczeń biurowych a stężeniem w powietrzu zewnętrznym latem ($p < 0,05$).

Obecność w badanych pomieszczeniach klimatyzacji lub jej brak miały istotny wpływ na wielkość stężeń drobnoustrojów grzybowych, przy czym zależność ta była istotna zarówno latem, jak i zimą. W sezonie letnim średnie stężenie grzybów ogółem w pomieszczeniach z klimatyzacją wynosiło $2,65 \times 10^2$ jtk/m³ i było ponad 1,5-krotnie wyższe niż w pomieszczeniach bez klimatyzacji (średnia geometryczna: $1,51 \times 10^2$ jtk/m³) ($p < 0,05$). Zimą obserwowano tendencję odwrotną. Średnie stęże-

nie grzybów ogółem w pomieszczeniach z klimatyzacją wynosiło wówczas 3,69 jtk/m³ i było ponad 5-krotnie niższe niż w pomieszczeniach bez klimatyzacji (średnia geometryczna: $1,81 \times 10^1$ jtk/m³) ($p < 0,05$).

(1→3)-β-D-glukany

Na podstawie danych zawartych w tabeli 1. stwierdzono, że zakres stężeń (1→3)-β-D-glukanów w powietrzu pomieszczeń biurowych wynosił 0,45–52,53 ng/m³, ze średnim stężeniem geometrycznym równym 3,91 ng/m³.

Na podstawie analizy porównującej wartości średnich stężeń (1→3)-β-D-glukanów w sezonach wykazano, że charakteryzowały się one istotnie niższym stężeniem w okresie zimowym ($p < 0,05$) (tab. 1). Średnie stężenia tego czynnika obecne w powietrzu badanych pomieszczeń wynosiły 5,43 ng/m³ latem i 2,82 ng/m³ zimą.

Stężenia (1→3)-β-D-glukanów w powietrzu zewnętrznym mieściły się w granicach 1,55–22,97 ng/m³ ze średnią wartością geometryczną równą 5,17 ng/m³. Analiza wykazała, że zarówno latem, jak i zimą różnice między średnimi stężeniami (1→3)-β-D-glukanów uzyskanymi wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń biurowych nie były statystycznie istotne ($p > 0,05$).

Wykazano ponadto, że w obu rozpatrywanych sezonach średnie stężenie (1→3)-β-D-glukanów było wyższe w pokojach bez klimatyzacji, jednak tylko dla wyników uzyskanych podczas zimowej serii pomiarowej różnica ta była istotna statystycznie ($p < 0,05$).

Stężenia (1→3)-β-D-glukanów wykazywały przeciętnie dodatnią, istotną statystycznie korelację ze stężeniami grzybów mezofilnych ($p < 0,05$). Korelacje stężeń (1→3)-β-D-glukanów ze stężeniami pyłu wdychalnego i endotoksyn omówiono wyżej.

OMÓWIENIE

Uzyskane średnie stężenia wszystkich analizowanych przez nas czynników były wyższe latem niż zimą i w każdym przypadku była to zależność istotna statystycznie ($p < 0,05$). Prawdopodobną przyczyną tego zjawiska może być to, że latem częściej i dłużej niż w miesiącach zimowych pracownicy wietrzą pomieszczenia, w których pracują. Do pomieszczeń wraz z powietrzem zewnętrznym mogą wówczas dostawać się omawiane w tym artykule czynniki biologiczne w stężeniach wyższych od obecnych w pokojach, uwalnianych ze źródeł wewnętrznych.

Przeprowadzone badanie pozwoliło na szeroką analizę czynników biologicznych i pyłu obecnych w powietrzu pomieszczeń biurowych. Źródłami pyłu

w pomieszczeniach biurowych są prace o charakterze biurowym (np. używanie papieru), materiały i elementy wyposażenia budynków, sami pracownicy oraz odwiedzający biura petenci, a także nieodpowiednio zaprojektowane, zanieczyszczone i źle działające systemy wentylacyjne (4). Analiza wykazała, że stężenia pyłu wdychalnego wewnątrz badanych obiektów mieściły się w zakresie od 0,01 do 0,99 mg/m³. Górna granica zakresu przekracza stężenia tej frakcji pyłu stwierdzone przez Reynoldsa i wsp. (28) oraz Burтона i wsp. (35), które wyniosły odpowiednio: 0,036 i 0,035 mg/m³.

Przeprowadzona przez nas analiza wykazała, że powietrze wewnątrz pomieszczeń biurowych zawierało bakterie mezofilne w stężeniu $6,48 \times 10^1$ – $4,57 \times 10^3$ jtk/m³ ze średnią geometryczną $6,00 \times 10^2$ jtk/m³. Wartość średniego stężenia bakterii była porównywalna z ich średnim stężeniem wewnątrz obiektu biurowego badanego przez Gołofit-Szymczak i wsp. (37). Zakres stężeń drobnoustrojów bakteryjnych przedstawiony przez nas w niniejszym artykule ($6,48 \times 10^1$ – $4,57 \times 10^3$ jtk/m³) był nieco szerszy od wyników opublikowanych przez Parata i wsp. ($3,3 \times 10^1$ – $2,4 \times 10^3$ jtk/m³) (20). Odnośnie do stężeń aerozolu bakteryjnego wewnątrz pomieszczeń biurowych analizy prowadzone przez wielu autorów pokazują, w porównaniu z wynikami uzyskanymi przez autorów niniejszego artykułu, wartości o rząd niższe – górna granica ich zakresu znajduje się poniżej 10^3 jtk/m³ (12,13,16,17,28,37,38).

Wyższą natomiast o rząd wielkości od uzyskanej w naszym badaniu średnią wartość stężenia bakterii mezofilnych podali Wan i wsp. (30). Na podstawie pomiarów przeprowadzonych w ramach realizacji naszego projektu określono stężenia bakterii w 2 sezonach – letnim i zimowym. Wyższe średnie stężenie równe $9,58 \times 10^2$ jtk/m³ uzyskano w letniej serii pomiarowej, a zimą wynosiło ono $3,76 \times 10^2$ jtk/m³. Podobną zależność odnotowały Gołofit-Szymczak i wsp., ale tylko w jednym z 2 opomiarowanych budynków (37). Również Tai i wsp. (38), badając biura w Stanach Zjednoczonych, uzyskali niższe stężenia bakterii latem ($1,16 \times 10^2$ jtk/m³) niż zimą ($8,67 \times 10^1$ jtk/m³). W naszym badaniu nie stwierdziliśmy różnic w stężeniach bakterii między pomieszczeniami z systemem klimatyzacyjnym a pomieszczeniami bez niego.

Taką zależność obserwowali również Gołofit-Szymczak i wsp. (37) w jesienno-zimowym okresie pomiarowym dla 2 budynków, z których jeden wyposażony był w całkowicie zautomatyzowany system klimatyzacyjny, a drugi był go pozbawiony. W tych samych budynkach w wiosenno-letniej serii pomiarowej autorki uzyskały

wyższe stężenia bakterii mezofilnych w pokojach wyposażonych w klimatyzację. Różną od wykazanej przez nas zależności uzyskali Parat i wsp. (20). W powietrzu pomieszczeń biurowych z systemem klimatyzacyjnym oznaczył ponad 4-krotnie wyższe średnie stężenie bakterii w porównaniu z pokojami niewyposażonymi w tego rodzaju system. Ponieważ bakterie Gram-dodatnie stanowiły wysoki odsetek w puli bakterii mezofilnych ogółem (średnio około 82%) stwierdzono bardzo silną korelację między tymi grupami drobnoustrojów ($p < 0,05$).

Inaczej niż w przypadku większości czynników fizycznych i chemicznych nie ma powszechnie akceptowanych kryteriów oceny narażenia na czynniki biologiczne obecne w powietrzu zarówno przemysłowego środowiska pracy, jak i nieprzemysłowego środowiska wewnątrz. Nie ma również ogólnie uznanych wartości normatywnych. Uzyskane wyniki stężeń mikroorganizmów odniesiono do zaproponowanej przez Górnego (3), zalecanej dopuszczalnej wartości stężenia bakterii w pomieszczeniach mieszkalnych i użyteczności publicznej, która wynosi $5,0 \times 10^3$ jtk/m³. Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że oznaczone w powietrzu badanych pomieszczeń biurowych stężenia bakterii mezofilnych we wszystkich przypadkach były poniżej proponowanej wartości referencyjnej.

Zakres stężeń endotoksyn w badanych pomieszczeniach wynosił 0,09–9,19 ng/m³ ze średnią wartością geometryczną równą 0,42 ng/m³. Do dzisiaj nie ma obowiązującego normatywu odnoszącego się do endotoksyn występujących w środowisku pracy. Zalecana w Polsce wartość referencyjna stężenia endotoksyn bakteryjnych obecnych w powietrzu nieprzemysłowego środowiska wewnątrz wynosi 5 ng/m³ (50 EU/m³) (3). Wartość referencyjna, będąca skutkiem pracy zespołu holenderskich ekspertów DECOS (Dutch Expert Committee on Occupational Standards), wynosi 90 EU/m³ (ok. 9 ng/m³) (36). Została ona określona jako NOAEL (no observable adverse effect level), czyli poziom, przy którym nie obserwuje się niekorzystnych skutków zdrowotnych u narażonych osób.

W przeprowadzonym przez nas badaniu stężenie endotoksyn wyższe od obydwu zalecanych wartości odnotowano podczas letniej serii pomiarowej tylko w jednym z badanych pomieszczeń, co stanowiło 2% wszystkich analizowanych wyników. Wartość wspomnianego stężenia wynosiła 9,19 ng/m³ i była oznaczona w pokoju, który znajdował się w budynku starym, po gruntownej renowacji, z centralnym systemem klimatyzacyjnym. Pozostałe stężenia nie przekroczyły żadnej z zalecanych

wartości granicznych. Oznaczone przez nas średnie stężenie endotoksyn było wyższe od stężeń tego czynnika w obiektach biurowych badanych przez Rylandera i wsp. ($0,1 \text{ ng/m}^3$) (32) oraz Wana i wsp. ($0,058 \text{ ng/m}^3$) (30). Wyższe wartości średnich stężeń endotoksyn uzyskali Yao i wsp. (31), którzy badając budynki biurowe w Stanach Zjednoczonych i Chinach, wykazali średnie stężenia endotoksyn na poziomach $2,1 \text{ ng/m}^3$ dla obiektów z Ameryki i $19,4 \text{ ng/m}^3$ dla obiektów z Azji.

Ponieważ w trakcie analizy tylko w nielicznych próbach wyhodowano pojedyncze kolonie bakterii Gram-ujemnych, pozwala to przypuszczać, że oznaczone w powietrzu pomieszczeń biurowych stężenia endotoksyn pochodziły z martwych komórek bakteryjnych obecnych w pyłach i przez niego przenoszonych. Endotoksyny bakteryjne wydają się być lepszym wskaźnikiem zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego pomieszczeń biurowych bakteriami Gram-ujemnymi niż stężenia tych drobnoustrojów oznaczane metodą hodowlaną.

Średnie stężenie grzybów mezofilnych w naszym badaniu wynosiło $4,89 \times 10^1 \text{ jtk/m}^3$ przy zakresie $2,0 - 5,11 \times 10^3 \text{ jtk/m}^3$. Górny zakres wartości przekraczał nieznacznie zakresy stężeń grzybów mezofilnych opisane przez autorów z Europy, Stanów Zjednoczonych i Chin ($13,16,20,39,40$), które mieściły się w granicach $0 - 3,8 \times 10^3 \text{ jtk/m}^3$. Wartości średnich stężeń grzybów, wyższe od wyników uzyskanych przez nas, uzyskali Wan i wsp. ($1,95 \times 10^2 \text{ jtk/m}^3$) (30), a także Reynolds i wsp. w jednym z badanych przez siebie biur ($1,0 \times 10^2 \text{ jtk/m}^3$) (28). Burge i wsp. prowadzący badania w Teksasie podali zakres stężeń, którego najwyższa wartość wynosiła $3,72 \times 10^2 \text{ jtk/m}^3$ i była o rząd wielkości niższa od uzyskanej przez nas (18). Rozpatrując zależność wysokości stężeń drobnoustrojów grzybowych od sezonu, podobnie jak w przypadku bakterii, stwierdziliśmy, że były one istotnie wyższe latem niż zimą. Taką tendencję w swoich pracach zaobserwowali także Pastuszka i wsp. (13), Tsai i wsp. (40) oraz Gołofit-Szymczak i wsp. (37).

W ramach realizacji projektu określaliśmy także, w jakim stopniu system klimatyzacyjny wpływa na poziomy aerozolu grzybowego obecnego w powietrzu pomieszczeń biurowych. Wykazaliśmy, że liczba grzybów w sezonie letnim była istotnie wyższa w pokojach z klimatyzacją, natomiast zimą zależność ta jest odwrotna. Znacznie wyższe stężenia w pomieszczeniach bez klimatyzacji opisali Parat i wsp. (20) – różniły się między sobą 12-krotnie. Także Gołofit-Szymczak i wsp. (37) uzyskali zależność odwrotną do opisanej przez nas – latem powietrze pomieszczeń biurowych zaopatrzonych w system klimatyzacyjny zawierało 2-krotnie mniej

drobnoustrojów grzybowych niż pomieszczenia bez tego systemu, natomiast zimą średnie stężenia grzybów nie różniły się między sobą.

Podobnie jak w przypadku bakterii otrzymane wyniki stężeń grzybów odnieśliśmy do zaproponowanej przez Górnego (3), zalecanej dopuszczalnej wartości dla tej grupy mikroorganizmów w pomieszczeniach mieszkalnych i użyteczności publicznej ($5,0 \times 10^3 \text{ jtk/m}^3$). Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że wykryte stężenia grzybów zostały przekroczone ogółem w jednym przypadku ($5,1 \times 10^3 \text{ jtk/m}^3$), w okresie zimowym.

Przeprowadzona w ramach projektu ocena stężeń (1→3)-β-D-glukanów obecnych w powietrzu pomieszczeń biurowych była pierwszym tego typu badaniem w Polsce. Należy zwrócić uwagę, że do chwili obecnej nie tylko nie ma obowiązujących, ale nawet zalecanych poziomów ekspozycji na (1→3)-β-D-glukany, które pozwoliłyby na higieniczną ocenę warunków pracy. Uzyskane wartości stężeń tych czynników biologicznych mieściły się w granicach $0,45 - 52,53 \text{ ng/m}^3$ ze średnią wynoszącą $3,91 \text{ ng/m}^3$. Bardzo zbliżoną wartość średniej ($3,2 \text{ ng/m}^3$) uzyskali Wan i wsp. (30), badając powietrze pomieszczeń biurowych w Chinach. Średnie stężenie (1→3)-β-D-glukanów na poziomie 4 ng/m^3 uzyskane przez Rylandera i wsp. (32) jest zbliżone do stężenia stwierdzonego przez nas, jednak podany przez autorów zakres uzyskanych stężeń jest znacznie węższy od naszego i wynosi $0 - 13 \text{ ng/m}^3$. Badanie Yao i wsp. (31) tego środowiska zawodowego wykazało występowanie niższego od oznaczonego przez nas średniego stężenia (1→3)-β-D-glukanów na poziomach $1,2 \text{ ng/m}^3$ i $1,5 \text{ ng/m}^3$ odpowiednio w Azji i Stanach Zjednoczonych (31). Madsen i wsp. (29) określili zakres stężeń od $1,1$ do $8,7 \text{ ng/m}^3$. Oznaczali także poziomy (1→3)-β-D-glukanów w 2 seriach pomiarowych – letniej i zimowej. Dla pomiarów wykonanych latem wartość średniego stężenia wynosiła $6,0 \text{ ng/m}^3$, a zimą była niższa – $1,8 \text{ ng/m}^3$ ($p < 0,05$). Wyniki te dobrze korespondują z wynikami uzyskanymi przez nas. Latem średnia stężeń (1→3)-β-D-glukanów wynosiła $5,43 \text{ ng/m}^3$ i była istotnie wyższa od średniej oznaczonej zimą – $2,82 \text{ ng/m}^3$.

WNIOSKI

1. Pora roku istotnie różnicowała stężenia wszystkich czynników biologicznych badanych w powietrzu pomieszczeń biurowych. Istotnie wyższe stężenia wszystkich badanych czynników odnotowano latem, przy czym w przypadku grzybów pleśniowych źródłem mogło być powietrze zewnętrzne.

2. Obecność klimatyzacji istotnie różnicowała stężenia niektórych badanych czynników biologicznych. W pomieszczeniach wyposażonych w klimatyzację stwierdzono istotnie niższe stężenia grzybów, (1→3)-β-D-glukanów i frakcji wdychalnej pyłu w sezonie zimowym. Latem wykazano odwrotną tendencję dotyczącą stężeń grzybów oraz pyłu.
3. W badanych pomieszczeniach biurowych niezależnie od pory roku i klimatyzacji nie stwierdzono przekroczeń wartości referencyjnej bakterii, a stężenia endotoksyn i grzybów tylko sporadycznie przekraczały poziomy referencyjne.

PIŚMIENNICTWO

1. Dutkiewicz J., Górny R.L.: Biologiczne czynniki szkodliwe dla zdrowia – klasyfikacja i kryteria oceny narażenia. *Med. Pr.* 2002;53(1):29–39
2. Dutkiewicz J., Śpiewak R., Jabłoński L.: Klasyfikacja szkodliwych czynników biologicznych występujących w środowisku pracy oraz narażonych na nie grup zawodowych. Instytut Medycyny Wsi, Lublin 1999
3. Górny R.L.: Biologiczne czynniki szkodliwe: normy, zalecenia i propozycje wartości dopuszczalnych. *Podst. Metody Oceny Środ.* Pr. 2004;3(41):17–39
4. Jankowska E., Pośniak M.: Zespół chorego budynku. Ocena parametrów środowiska pracy. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2007
5. Cooley J.D., Wong W.C., Jumper C.A., Straus D.C.: Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome. *Occup. Environ. Med.* 1998;55(9):579–584. DOI: 10.1136/oem.55.9.579
6. Straus D.C.: Molds, mycotoxins, and sick building syndrome. *Toxicol. Ind. Health* 2009;25(9–10):617–635. DOI: 10.1177/0748233709348287
7. Saijo Y., Kanazawa A., Araki A., Morimoto K., Nakayama K., Takigawa T. i wsp.: Relationships between mite allergen levels, mold concentrations, and sick building syndrome symptoms in newly built dwellings in Japan. *Indoor Air* 2011;21(3):253–263. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2010.00698.x
8. Jankowska E., Pośniak M.: Problemy jakości środowiska pracy w pomieszczeniach biurowych. *Bezpiecz. Pr.* 2003;379(2):5–8
9. Wittczak T., Walusiak J., Pałczyński C.: „Sick building syndrome” – nowy problem w medycynie pracy. *Med. Pr.* 2001;52(5):369–373
10. Buczyńska A., Cyprowski M., Piotrowska M., Szadkowska-Stańczyk I.: Grzyby pleśniowe w powietrzu pomieszczeń biurowych – wyniki interwencji środowiskowej. *Med. Pr.* 2007;58(6):521–525
11. Stypułkowska-Misiurewicz H., Pancer K.: Legionelloza – nowe zagrożenie w Polsce. *Przegl. Epidemiol.* 2002;56(4):567–576
12. Lis D.O., Pastuszka J.S., Górny R.L.: Występowanie aerozolu bakteryjnego i grzybowego w mieszkaniach, biurach i środowisku zewnętrznym Górnego Śląska. Wyniki wstępne. *Rocz. Państw. Zakł. Hig.* 1997;48(1):59–68
13. Pastuszka J.S., Paw U.K.T., Lis D.O., Wlazło A., Ulfig K.: Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia Poland. *Atmos. Environ.* 2000;34(22):3833–3842. DOI: 10.1016/s1352-2310(99)00527-0
14. Gołofit-Szymczak M., Skowron J.: Zagrożenia biologiczne w pomieszczeniach biurowych. *Bezpiecz. Pr.* 2005;406(3):29–31
15. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych na stanowiskach pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki. *DzU z 2005 r. nr 81, poz. 716*
16. Bonetta S., Bonetta S., Mosso S., Sampò S., Carraro E.: Assessment of microbiological indoor air quality in an Italian office building equipped with an HVAC system. *Environ. Monit. Assess.* 2010;161(1–4):473–483. DOI: 10.1007/s10661-009-0761-8
17. Bouillard L., Michel O., Dramaix M., Devleeschouwer M.: Bacterial contamination of indoor air, surfaces, and settled dust, and related dust endotoxin concentrations in healthy office buildings. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2005;12(2):187–192
18. Burge H.A., Pierson D.L., Groves T.O., Strawn K.F., Mishra S.K.: Dynamics of airborne fungal populations in a large office building. *Curr. Microbiol.* 2000;40(1):10–16. DOI: 10.1007/s002849910003
19. Huttunen K., Rintala H., Hirvonen M., Vepsäläinen A., Hyvärinen A., Meklin T. i wsp.: Indoor air particles and bioaerosols before and after renovation of moisture-damaged buildings: The effect on biological activity and microbial flora. *Environ. Res.* 2008;107(3):291–298. DOI: 10.1016/j.envres.2008.02.008
20. Parat S., Perdrix A., Fricker-Hidalgo H., Saude I., Grillot R., Baconnier P.: Multivariate analysis comparing microbial air content of an air-conditioned building and a naturally ventilated building over one year. *Atmos. Environ.* 1997;31(3):441–449. DOI: 10.1016/s1352-2310(96)00212-9
21. Wu P.-C., Li Y.-Y., Chiang C.-M., Huang C.-Y., Lee C.-C., Li F.-C. i wsp.: Changing microbial concentrations are associated with ventilation performance in Taiwan’s air-con-

- ditioned office buildings. *Indoor Air* 2005;15(1):19–26. DOI:10.1111/j.1600-0668.2004.00313.x
22. Zhu H., Phelan P., Duan T., Raupp G., Fernando H.J.S.: Characterizations and relationships between outdoor and indoor bioaerosols in an office building. *China Particulol.* 2003;1(3):119–123. DOI: 10.1016/s1672-2515(07)60122-5
23. Skowroń J., Gołofit-Szymczak M.: Zanieczyszczenia mikrobiologiczne powietrza w środowisku pracy – źródła, rodzaje i oznaczanie. *Bromat. Chem. Toksykol.* 2004;37(1):91–98
24. Dales R., Miller D., Ruest K., Guay M., Judek S.: Airborne endotoxin is associated with respiratory illness in the First 2 years of life. *Environ. Health Perspect.* 2006;114(4):610–614. DOI: 10.1289/ehp.8142
25. Thorne P.S.: Inhalation toxicology models of endotoxin – and bioaerosol induced inflammation. *Toxicology* 2000;152(2):13–23. DOI: 10.1016/S0300-483X(00)00287-0
26. Czop J.K., Kay J.: Isolation and characterization of β -glucan receptors on human mononuclear phagocytes. *J. Exp. Med.* 1991;173(6):1511–1520. DOI: 10.1084/jem.173.6.1511
27. Rylander R.: (1 \rightarrow 3)- β -D-glucan in the environment: A risk assessment. W: Young S.-H., Castranova V. [red.]. *Toxicology of (1 \rightarrow 3)- β -D-glucans.* Taylor & Francis, Boca Raton, FL 2005, ss. 53–64
28. Reynolds S.J., Black D.W., Borin S.S., Breuer G., Burmeister L.F., Fuortes L.J. i wsp.: Indoor environmental quality in six commercial office buildings in the Midwest United States. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 2001;16(11):1065–1077. DOI 10.1080/104732201753214170
29. Madsen A.M., Frederiksen M.W., Allermann L., Peitersen J.H.: (1 \rightarrow 3)- β -D-glucan in different background environments and season. *Aerobiologia* 2011;27(2):173–179. DOI: 10.1007/s10453-010-9178-7
30. Wan G.H., Li C.S.: Indoor endotoxin and glucan in association with airway inflammation and systemic symptoms. *Arch. Environ. Health* 1999;54(3):172–179. DOI: 10.1080/00039899909602256
31. Yao M., Wu Y., Zhen S., Mainelis G.: A comparison of airborne and dust-borne allergens and toxins collected from home, office and outdoor environments both in New Haven, United States and Nanjing, China. *Aerobiologia* 2009;25(3):183–192. DOI: 10.1007/s10453-009-9123-9
32. Rylander R., Thorn J., Attefors R.: Airways inflammation among workers in paper industry. *Eur. Respir. J.* 1999;13(5):1151–1157
33. Polska Norma PN-EN 13098:2007: Powietrze na stanowiskach pracy – Wytyczne dotyczące pomiaru mikroorganizmów i endotoksyn zawieszonych w powietrzu. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2007
34. Polska Norma PN-EN 14042:2004: Powietrze na stanowiskach pracy – Przewodnik użytkowania i stosowania procedur do oceny narażenia na czynniki chemiczne i biologiczne. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2004
35. Burton L.E., Girman J.G., Womble S.E.: Airborne particulate matter within 100 randomly selected office buildings in the United States (BASE). *Proc. Healthy Build.* 2000;1:157–162
36. DECOS Health Council of the Netherlands. Endotoxins. Health-based recommended occupational exposure limit [publication no. 2010/04OSH]. Council, Haga 2010 [cytowany 19 grudnia 2011]. Adres: <http://www.gezondheidsraad.nl/sites/default/files/201004OSH.pdf>
37. Gołofit-Szymczak M., Skowroń J.: Porównanie składu mikroflory powietrza pomieszczeń biurowych w budynku z systemami klimatyzacyjnymi z budynkiem bez klimatyzacji. *Bromat. Chem. Toksykol.* 2005;38(4):407–412
38. Tsai F.C., Macher J.M.: Concentrations of airborne culturable bacteria in 100 large US office buildings from the BASE study. *Indoor Air* 2005;15(Supl. 9):71–81. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2005.00346.x
39. Law A.K., Chau C.K., Chan G.Y.: Characteristics of bioaerosol profile in office buildings in Hong Kong. *Build. Environ.* 2001;36(4):527–541. DOI: 10.1016/s0360-1323(00)00020-2
40. Tsai F.C., Macher J.M., Hung Y.Y.: Biodiversity and concentrations of airborne fungi in large US office buildings from the BASE study. *Atmos. Environ.* 2007;41(25):5181–5191. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2006.06.069