

mł. bryg dr inż. Anna Prędecka

mgr inż. Sylwia Kosut

Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Analiza zagrożeń mikrobiologicznych w powietrzu wewnętrznym na przykładzie zanieczyszczeń w wybranych pomieszczeniach Szkoły Głównej Służby Pożarniczej

Abstrakt

W artykule dokonano analizy zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza w wybranych pomieszczeniach Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Zebrany materiał został poddany badaniu przy pomocy dwóch metod: metody sedimentacyjnej Kocha oraz metody zderzeniowej (impakcyjnej), z wykorzystaniem próbnika powietrza MAS-100 Eco. Otrzymane wyniki badań zestawiono z normatywami higienicznymi i zaproponowano działania mające na celu wyeliminowanie lub ograniczenie szkodliwego oddziaływania zanieczyszczeń mikrobiologicznych na zdrowie pracowników i studentów.

Słowa kluczowe: mikroorganizmy, bioaerozol, czystość mikrobiologiczna powietrza wewnątrz budynku

Analysis of Microbiological Hazards in the Indoor Air (of the Selected Rooms of the Main School of Fire Service)

Abstract

The article presents the analysis of microbiological contamination of the air in the selected rooms located in the Main School of Fire Service. The collected material was tested using two methods: the Koch's sedimentation method and the collision (impact) method. The test was conducted using the MAS-100 Ecoair sampler.

The results obtained were compared with the hygienic standards. The measures have been proposed to eliminate or reduce the harmful effects of microbiological contamination of the staff and students' health.

Keywords: microorganisms, bio-aerosol, microbiological purity of the air inside the building

Wstęp

Mikroorganizmy są elementem każdej przestrzeni, czy to środowiska przyrodniczego, zabudowy miejskiej czy zamkniętego budynku. Choć są niewidoczne dla oka, ich obecność nie powinna być lekceważona, gdyż może zagrażać zdrowiu. Spleśniałe powłoki malarskie, gnijące drewno, kurz, pleśń na oknach czy ścianach, spróchniałe podłogi to uwidocznione efekty rozwoju i namnażania się drobnoustrojów. Poza wymienionymi efektami mogą one mieć negatywny wpływ na człowieka jako czynnik chorobotwórczy wywołujący schorzenia, np.: układu oddechowego, zapalenie zatok i spojówek, alergie, zmiany skórne, bóle głowy, a nawet choroby nowotworowe. Rodzaj występujących dolegliwości zależy między innymi od gatunku mikroorganizmów i ich stężenia we wdychanym powietrzu, czasu trwania ekspozycji na zanieczyszczenia oraz indywidualnej reakcji układu immunologicznego człowieka. Jakość wdychanego powietrza może wpływać na poziom koncentracji, samopoczucie, a tym samym na efektywność pracy czy nauki. Dlatego też dbałość o mikroklimat budynku i jakość zamkniętego w nim powietrza nabiera istotnego znaczenia. Obecnie brak jest jasno sprecyzowanych norm i wartości dopuszczalnych stężeń mikroorganizmów, lecz coraz więcej instytucji naukowo-badawczych i firm zajmuje się poszukiwaniem rozwiązań służących poprawie jakości powietrza wewnątrz budynków. Ten postępujący trend jest pozytywną odpowiedzią na wyniki światowych badań. Sprzyja kreowaniu, jeszcze na etapie projektowania domu, zasad budownictwa uwzględniających potrzeby efektywnej wentylacji i ogrzewnictwa, doborowi odpowiednich materiałów wykończeniowych, a także utrzymywaniu wysokiej higieny i czystości wewnątrz budynku.

Skład powietrza wewnętrznego zależy od czynników zewnętrznych, takich jak: wyposażenie, zastosowane materiały wykończeniowe, ilość

kurzu, rośliny, jakoś systemu wentylacyjno-klimatyzacyjnego, a nawet od samego człowieka i czynności, jakie wykonuje. Zarodniki grzybów, alergeny, przetrwalniki bakterii obecne na wymienionych powierzchniach czy zawieszone w powietrzu atmosferycznym, wydzielają dodatkowo substancje chemiczne, takie jak mikotoksyny, endotoksyny, enterotoksyny i in. Wszystkie wymienione mają udowodnione działanie toksyczne lub rakotwórcze. Ważne jest zatem utrzymanie niskiej koncentracji drobnoustrojów w każdym pomieszczeniu mieszkalnym, użyteczności publicznej, szkoły czy miejscu pracy, aby użytkowników obiektu nie narażać na pogorszenie własnego stanu zdrowia.

Identyfikacja czynników mikrobiologicznych w pomieszczeniach szkoły jest o tyle istotna, że większość pracowników i uczniów spędza w nich ponad $\frac{1}{4}$ swojego czasu pracy czy nauki. W oszacowaniu poziomu zagrożenia zdrowotnego pracowników i studentów może pomóc regularne przeprowadzanie pomiarów określających ilość mikroorganizmów w 1 m^3 powietrza. Wszędzie tam, gdzie istnieje potencjalne narażenie na szkodliwe działanie mikroorganizmów, zasadne jest wykonywanie odpowiednich analiz pomagających w ustaleniu jakości powietrza w pomieszczeniach i identyfikację możliwych ognisk chorobotwórczych.

Celem badań była ocena występowania zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza w wybranych pomieszczeniach Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, odniesienie otrzymanych wyników do normatyw higienicznych oraz zaproponowanie działań służących poprawie jakości powietrza w budynkach, a tym samym ograniczających szkodliwe oddziaływanie ewentualnych zanieczyszczeń mikrobiologicznych na zdrowie pracowników i studentów.

2. Materiał i metody

Badania obejmowały pobranie próbek powietrza na zewnątrz uczelni oraz w wyznaczonych pomieszczeniach uczelni (m.in.: sale wykładowe klimatyzowane i bez systemu klimatyzacyjnego, laboratoria, sala gimnastyczna, biblioteka). Zebrany materiał badawczy poddano analizie z zastosowaniem dwóch metod: metody sedymentacyjnej Kocha oraz metody zderzeniowej (impakcyjnej), z wykorzystaniem próbnika powietrza MAS-100 Eco. Analizę mikrobiologiczną, jak i samo pobieranie próbek wykonano zgodnie

z zaleceniami normy PN-89/Z-04111/03 oraz światowymi standardami. Przeprowadzone badania skupiały się głównie na analizie ilościowej, pozwalającej na ustalenie liczby mikroorganizmów, znajdujących się w jednostce objętości powietrza, wyrażonej w jednostkach tworzących kolonie (jtk) w 1 m³.

2.1. Procedura badawcza

Kluczowymi dokumentami, które dotyczą zagrożeń biologicznych na stanowisku pracy są polskie normy:

1. Norma PN-EN 14031: 2006. Powietrze na stanowiskach pracy. Oznaczenie zawieszonych w powietrzu endotoksyn.
2. Norma PN-EN 13098: 2007. Powietrze na stanowiskach pracy. Wytyczne dotyczące pomiaru zawieszonych w powietrzu mikroorganizmów i endotoksyn.
3. Norma PN-EN 14583: 2008. Powietrze na stanowiskach pracy – przyrządy do objętościowego pobierania bioaerozolu – wymagania i metody badań.

Normy te wyznaczają procedury badania mikroflory powietrza w pomieszczeniach. Opisano w nich procedury pobierania prób powietrza i inkubacji mikroorganizmów. Korzystanie z nich pozwala na odpowiednie kształtowanie stanowisk pracy w aspekcie bezpieczeństwa i higieny pracy.

2.2. Charakterystyka obiektu badań

Przeprowadzone badania stężenia bioaerozolu wykonywane zostały w pomieszczeniach Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Lokalizacja punktów pomiarowych w wybranej pracowni czy sali wykładowej zależała od jej przeznaczenia.

Próbki powietrza, które posłużyły do wykonania analizy, pobrano z dziewięciu pomieszczeń uczelni. W budynku 01 była to: sala komputerowa, aula z systemem klimatyzacyjnym, sala gimnastyczna i laboratorium chemiczne. W obiekcie 02 wybrano: magazyn biblioteczny, czytelną, korytarz, toaletę oraz salę wykładową „E” bez klimatyzacji.

Magazyn biblioteczny, jak i sama czytelnia są specyficznym miejscem, gdzie istnieją dogodne warunki do wzrostu drobnoustrojów. Poza wilgotnością względną powietrza, zanieczyszczeniem pyłowym i kurzem, w pomiesz-

czeniu tych znajdują się duże ilości substancji pochodzenia organicznego, korzystnych z punktu widzenia rozwoju grzybów mikroskopowych. Mowa tu o zasobach bibliotecznych, jakimi są książki. Podstawowym składnikiem papieru jest celuloza, polimer rozkładany przez wiele drobnoustrojów w procesie enzymatycznej hydrolizy. W jej wyniku dochodzi do obniżenia trwałości papieru a co za tym idzie do możliwego uszkodzenia zbiorów bibliotecznych.

Sale, w których odbywają się zajęcia dydaktyczne, to pomieszczenia bez systemu klimatyzacyjnego, gdzie wymiana powietrza odbywa się na zasadzie otwierania okien i wietrzenia. W takich przypadkach duży wpływ na jakość powietrza wewnętrznego mają czynniki zewnętrzne a także wyposażenie pomieszczenia. Urządzenia, takie jak komputery, projektory multimedialne, faksy i drukarki wydzielają podczas pracy szkodliwe związki chemiczne, do których zaliczane są tlenki azotu, ozon, furany i inne.

W szkolnych laboratoriach przeprowadzane są doświadczenia z użyciem aparatury pomiarowej i różnych substancji szkodliwych stanowiących źródło dodatkowych zanieczyszczeń powietrza. W przeprowadzanych badaniach wybrane zostało laboratorium chemiczne, mieszczące się w obiekcie 01.

Pomieszczeniem klimatyzowanym, z którego pobrano próbki powietrza była aula z miejscami dla 250 słuchaczy. Regularnie odbywają się w niej wykłady dla studentów, a także konferencje naukowe i uroczystości okolicznościowe. Ze względu na znaczną liczbę osób przebywających jednocześnie w auli i brak okien, konieczne jest uruchamianie systemu klimatyzacyjnego. Pomaga on w utrzymaniu odpowiedniego komfortu cieplnego i wilgotności oraz zapobiega gromadzeniu się nieprzyjemnych zapachów. Komfort użytkownika pomieszczenia powinien być zapewniony poprzez wysoki poziom czystości instalacji klimatyzacyjnych i wentylacyjnych.

Największym pomieszczeniem poddanym weryfikacji na czystość mikrobiologiczną powietrza była sala gimnastyczna. Codzienne wykorzystywanie jej do zajęć wychowania fizycznego oraz rozgrywanych turniejów wymusza zapewnienie odpowiedniego stanu nawierzchni oraz czystości powietrza. Nieprzyjemny zapach powstający podczas każdych zajęć sportowych oraz w skutek stosowania chemicznych środków czyszczących jest eliminowany poprzez otwieranie okien i wietrzenie pomieszczenia.

Charakterystykę pomieszczeń, w których pobrano próbki powietrza przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka pomieszczeń poddanych badaniu

Lp.	Obiekt	Budynek	Pomieszczenie	Powierzchnia (m ²)	Liczba miejsc
1.	01	F	Sala 115	93	24
2.			Aula	245	250
3.		A	Sala gimnastyczna	566	–
4.		B	Laboratorium	62	–
5.	02	B	Biblioteka	76,3	43
6.			Magazyn biblioteczny	108	–
7.			Korytarz	48	–
8.			Sala E	52,4	34
9.			Sanitariat	18,3	4

Źródło: opracowanie własne

2.3. Metody pomiarowe czystości mikrobiologicznej powietrza

Ocena czystości mikrobiologicznej badanych pomieszczeń odbyła się w serii pięciu powtórzeń dla każdego wyznaczonego punktu pomiarowego. Otrzymane wyniki poddane zostały analizie mającej na celu określenie ilości drobnoustrojów znajdujących się w 1 m³ powietrza, wyrażoną liczbą jednostek tworzących kolonie (jtk/m³). Sama kontrola jakości mikrobiologicznej powietrza wymagała rzetelnych metod pomiarowych. W celu wykrycia drobnoustrojów w analizowanych pomieszczeniach zastosowane zostały dwie metody: sedymentacyjna oraz zderzeniowa (impakcyjna).

Metoda sedymentacyjna Kocha polega na swobodnym osiadaniu pod wpływem sił grawitacyjnych mikroorganizmów i pyłu na płytkach Petriego zawierających specjalne pożywki. Przygotowane płytki z trzema rodzajami podłoża zostały pozostawione na 15 minut na wysokości około 1 metra od podłogi. Po określonym czasie inkubacji kolonie wyrosłe na powierzchni

płytek zostały zliczone i zidentyfikowane. Następnie ilość mikroorganizmów przypadającą na jednostkę objętości obliczona została z wykorzystaniem zależności opisanej wzorem (1):

$$X = \frac{a \times 100}{(b \times c) \times 100} \quad (1)$$

gdzie:

X – liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) w 1 m³;

a – średnia arytmetyczna z liczby kolonii;

b – powierzchnia płytki w cm²;

c – współczynnik czasu ekspozycji płytki (dla 10 min. c = 2);

100 – przeliczenie powierzchni płytki na 100 cm.

Metoda sedymentacyjna jest najstarszym znanym sposobem badania mikroflory powietrza. To najprostsza technika, która nie wymaga dużych nakładów finansowych, przez co jest często stosowana. W porównaniu do innych metod, otrzymane wyniki są znacznie zaniżone. Wynika to z faktu, że nie wszystkie drobnoustroje, kropelki wody czy cząsteczki kurzu opadają z tą samą szybkością. Ma na to wpływ rozmiar cząstek, ich waga, ładunek elektrostatyczny, ruch powietrza oraz wilgotność [5]. Za pomocą tej metody niezwykle trudne jest wykrycie cząstek o rozmiarach mniejszych niż 5 μm, ponieważ osiadają bardzo wolno albo w ogóle nie ulegają sedymentacji [7]. Dodatkową przeszkodą są także prądy powietrza występujące w pomieszczeniach, więc nie można przeprowadzać pomiarów przy otwartych oknach lub klimatyzatorach. Dlatego metoda sedymentacyjna Kocha nie powinna być stosowana do przeprowadzenia szczegółowych badań czystości powietrza. Na jej podstawie można oszacować prawdopodobne stężenie zanieczyszczeń w pomieszczeniach o małych ruchach powietrza.

W przypadku metody zderzeniowej wykorzystywane są urządzenia pozwalające na mechaniczne oddzielenie zanieczyszczeń z pobieranej próbki powietrza. Kontrola skażenia mikrobiologicznego została przeprowadzona przy użyciu próbnika powietrza MAS-100 Eco firmy Merck. Urządzenie posiada dwuprzepływowy turbowentylator, za pomocą którego zasysa strumień powietrza przez metalową głowicę z 400 otworami, każdy o średnicy 1 mm. Podczas dokonywania pomiarów metodą zderzeniową powietrze zostaje przepuszczone przez otwory w urządzeniu i w wyniku uderzenia

o powierzchni płytki pozostają na niej zanieczyszczenia [4]. W ten sposób w każdym punkcie badawczym pobrano pięć próbek powietrza o objętości 50 litrów każda w czasie 30 sekund. Następnie płytki Petriego poddano inkubacji w temperaturze i czasie odpowiednim dla określonego drobnoustroju i dla danego rodzaju podłoża, a następnie policzono liczby wyrosłych kolonii według wzoru (2):

$$X = \frac{a \times 100}{(v \times t)} \quad (2)$$

gdzie:

X – liczba jednostek tworzących kolonie (jtk) w 1 m³;

a – liczba kolonii w 10 litrach powietrza;

v – objętość pobieranej próbki w czasie jednej minuty, w tym wypadku 100 l;

t – czas pobierania próbki w minutach, w tym wypadku 6 sekund (0, 1 min).

Zastosowanie aparatu do kontroli czystości mikrobiologicznej pozwala na szybką i prostą analizę. Dokładność wyników jest też większa niż przy metodzie sedymentacji, gdyż próbnik pobiera zarówno duże, jak i drobne zanieczyszczenia o wielkości poniżej 5 µm. Wadą tej metody jest ryzyko zarastanie pożywek, jeśli jest silnie zanieczyszczone powietrze albo podłoże nie zostało odpowiednio przygotowane. Dodatkowo w wyniku nagłego uderzenia drobnoustroju o podłoże może nastąpić spadek jego żywotności [6].

3. Omówienie wyników

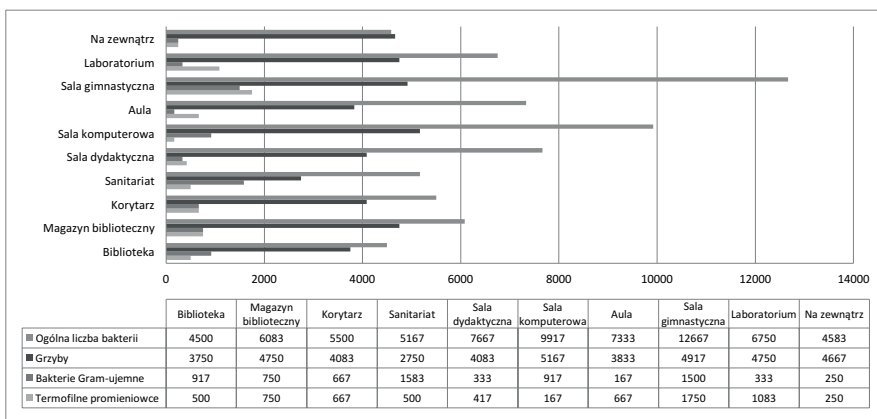
Wyniki przeprowadzonych pomiarów stanowią podstawę do analizy zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza w pomieszczeniach uczelni. Dla każdego punktu pomiarowego została podana liczba jednostek tworzących kolonie, jaka znajdowała się w 1 m³ pobranego powietrza odpowiednio dla ogólnej liczby bakterii, grzybów, bakterii Gram-ujemnych oraz dla termofilnych promieniowców. W celach porównawczych dodatkowo pobrano próbki powietrza na zewnątrz budynku przed wejściem do uczelni (obiekt 02). Podczas poboru próbek powietrza został przeprowadzony pomiar temperatury i wilgotności względnej powietrza dla każdego punktu pomiarowego. Poniżej przedstawiono tabele i rysunki, na których zaprezentowano wyniki analiz mikrobiologicznych z wykorzystaniem metody zderzeniowej i sedymentacyjnej.

Wyniki analiz mikrobiologicznych powietrza różnią się w metodzie sedymentacyjnej i metodzie zderzeniowej. Średnia arytmetyczna liczby jtk w 1 m³ pobranego powietrza w badanych pomieszczeniach w metodzie zderzeniowej wyniosła 7016 dla ogólnej liczby bakterii, 4275 dla grzybów, 742 dla bakterii Gram-ujemnych oraz 675 dla termofilnych promieniowców. W metodzie sedymentacyjnej wartości przedstawiały się odpowiednio: 4648 dla ogólnej liczby bakterii, 2393 dla grzybów, 470 dla bakterii Gram-ujemnych oraz 556 dla termofilnych promieniowców. Różnice w ilości drobnoustrojów podsygnowane są tym, że przy metodzie Kocha najdrobniejsze cząsteczki bioaerozolu albo nie ulegają sedymentacji, albo osiadają na płytce bardzo powoli. Przy użyciu odpowiedniego aparatu do mechanicznego pobierania próbek powietrza możliwe było wykrycie nawet tych drobnych zanieczyszczeń. Tym samym wyniki z metody zderzeniowej są bardziej precyzyjne i oddają obraz zbliżony do rzeczywistego zanieczyszczenia w salach wykładowych. Pomimo zaobserwowanych różnic istnieje też wspólna właściwość, a mianowicie obydwie metody wykazały podwyższone stężenia zanieczyszczeń mikrobiologicznych w tych samych punktach pomiarowych.

Tabela 2. Liczba jednostek tworzących kolonie dla punktów pomiarowych. Metoda zderzeniowa

Punkt pomiarowy	Liczba jednostek tworzących kolonie [jtk/m ³]			
	Termofilne promieniowce	Bakterie Gram-ujemne	Grzyby	Ogólna liczba bakterii
Biblioteka	500	917	3750	4500
Magazyn biblioteczny	750	750	4750	6083
Korytarz	667	667	4083	5500
Sanitariat	500	1583	2750	5167
Sala dydaktyczna	417	333	4083	7667
Sala komputerowa	167	917	5167	9917
Aula	667	167	3833	7333
Sala gimnastyczna	1750	1500	4917	12667
Laboratorium	1083	333	4750	6750
Na zewnątrz	250	250	4667	4583

Źródło: opracowanie własne



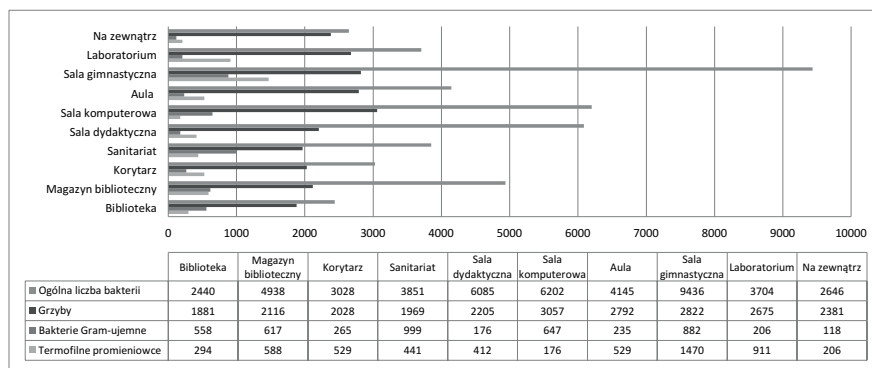
Rys. 1. Liczba drobnoustrojów w poszczególnych punktach pomiarowych dla metody zderzeniowej

Źródło: opracowanie własne

Tabela 3. Liczba jednostek tworzących kolonie dla punktów pomiarowych. Metoda sedymentacyjna Kocha

Punkt pomiarowy	Liczba jednostek tworzących kolonie [jtk/m ³]			
	Termofilne promienowce	Bakterie Gram-ujemne	Grzyby	Ogólna liczba bakterii
Biblioteka	294	558	1881	2440
Magazyn biblioteczny	588	617	2116	4938
Korytarz	529	265	2028	3028
Sanitariat	441	999	1969	3851
Sala dydaktyczna	412	176	2205	6085
Sala komputerowa	176	647	3057	6202
Aula	529	235	2792	4145
Sala gimnastyczna	1470	882	2822	9436
Laboratorium	911	206	2675	3704
Na zewnątrz	206	118	2381	2646

Źródło: opracowanie własne



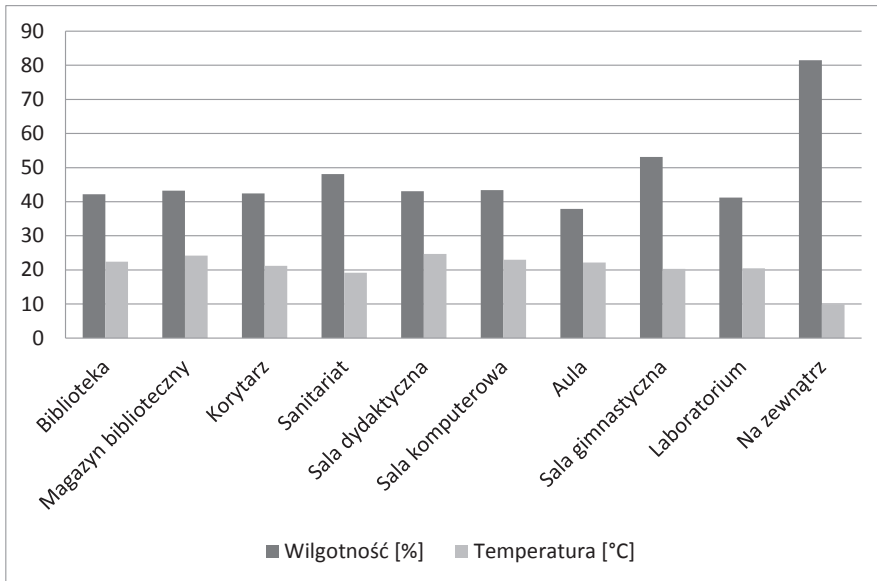
Rys. 2. Liczba drobnoustrojów w poszczególnych punktach pomiarowych dla metody sedymentacyjnej Kocha

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4. Wilgotność względna powietrza i temperatura dla punktów pomiarowych

Punkt pomiarowy	Wilgotność [%]	Temperatura [°C]
Biblioteka	42,2	22,4
Magazyn biblioteczny	43,2	24,2
Korytarz	42,4	21,2
Sanitariat	48,1	19,2
Sala dydaktyczna	43,1	24,7
Sala komputerowa	43,4	23
Aula	37,9	22,2
Sala gimnastyczna	53,1	20,3
Laboratorium	41,2	20,5
Na zewnątrz	81,5	9,9

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Wilgotność względna powietrza i temperatura dla poszczególnych punktów pomiarowych

Źródło: opracowanie własne

Miejszem, gdzie liczba drobnoustrojów była największa, jest sala gimnastyczna. Liczba kolonii stwierdzona dla tego pomieszczenia była kilkakrotnie wyższa od wartości w pozostałych punktach pomiarowych. Porównując jednocześnie warunki mikroklimatu, można dodać, że właśnie na sali sportowej odnotowano najwyższą wilgotność powietrza dla pomieszczeń zamkniętych, bo aż 53,1%, zaś temperatura wyniosła 20°C. Na sali sportowej zanotowano najwyższe stężenie ogólnej liczby bakterii i promieniowców termofilnych, zaś stężenia grzybów i bakterii Gram-ujemnych były niższe. Biorąc pod uwagę panujące warunki mikroklimatu można stwierdzić, że duża wilgotność powietrza umożliwiała dogodny wzrost mikroorganizmom. Im wyższa wilgotność i temperatura powietrza tym intensywniej namnażają się bakterie i grzyby pleśniowe. Na wynik niewątpliwie wpływa także samo przeznaczenie pomieszczenia, gdzie odbywają się zajęcia sportowe. Wysiłek fizyczny sprawia, że studenci pozostawiają po sobie parę wodną, nieprzyjemny zapach i kropelki potu. Co więcej kurz gromadzący się w zakamarkach i szczelinach sali, środki chemiczne używane do czyszczenia i konserwacji,

brak nawyku systematycznego wietrzenia sprawiły, że drobnoustroje miały zapewnioną pożywkę oraz jednocześnie idealne warunki do namnażania się, co nie zostało zaobserwowane w innych punktach badawczych.

Sala komputerowa to miejsce, gdzie stwierdzono najwyższą liczbę grzybów, która wyniosła 5167 jtk/m³ czwartą, co do wielkości liczbę bakterii Gram-ujemnych – 917 jtk/m³ i drugą dla ogólnej liczby bakterii – 9917 jtk/m³. Parametry mikroklimatu w tym pomieszczeniu przedstawiały się następująco: temperatura powietrza wynosiła 23°C przy wilgotności względnej powietrza 43,4%. Można przypuszczać, że na tak niekorzystny wynik miały wpływ urządzenia, w jakie wyposażona jest pracownia. W sali wydzielonych jest 20 stanowisk komputerowych, a poza tym sprzętem znajdują się jeszcze projektory multimedialne, telefony i drukarki. W komputerach i projektorach zainstalowane są wentylatory chłodzące – mechanizm wymuszający ruch powietrza. W ten sposób kurz, pyłki, zjonizowane powietrze i alergeny znajdujące się wewnątrz urządzenia mieszają się z powietrzem, które wdychają studenci i wykładowcy. Zawarte w kurzu zarodniki i strzępki grzybni stanowią najbardziej szkodliwe czynniki biologiczne, a tych w pracowni komputerowej odnotowano najwięcej spośród wszystkich pomieszczeń poddanych kontroli.

Porównując sale dydaktyczne wyposażone w system klimatyzacyjny i bez tego systemu można stwierdzić, że w sali dydaktycznej „E” w przypadku grzybów, ogólnej liczby bakterii i bakterii Gram-ujemnych otrzymano wyższe wyniki w porównaniu z aulą wykładową, która wyposażona jest w klimatyzację. Jedynie dla termofilnych promieniowców sytuacja jest odwrotna (porównanie liczby drobnoustrojów przedstawiono w tabeli 5). Wymiana powietrza w pomieszczeniach jest o tyle istotna, że pozwala utrzymać warunki komfortu dogodne dla pracy i funkcjonowania organizmu. Wilgotność powietrza na auli wyniosła 37,9%, a temperatura 22°C. Wartości te nie są sprzyjające dla rozmnażania mikroorganizmów, ale optymalne dla komfortu fizycznego człowieka. W przypadku sali dydaktycznej bez klimatyzacji parametry mikroklimatu wyniosły odpowiednio 43,1% oraz 25°C. Dzięki systemowi klimatyzacyjnemu można zapewnić odpowiednie warunki higieniczne powietrza w pomieszczeniach zamkniętych, pod warunkiem, że będą przestrzegane zasady czyszczenia i konserwowania urządzeń klimatyzacyjnych.

Tabela 5. Porównanie stężenia drobnoustrojów w sali z systemem klimatyzacyjnym i bez systemu klimatyzacyjnego

Sala dydaktyczna	Liczba jednostek tworzących kolonie [jtk/m ³]			
	Termofilne promieniowce	Bakterie Gram-ujemne	Grzyby	Ogólna liczba bakterii
Bez systemu klimatyzacyjnego (sala „E”)	417	333	4083	7667
Z systemem klimatyzacyjnym (aula)	667	167	3833	7333

Źródło: opracowanie własne

W laboratorium chemicznym podwyższoną wartość zanotowano głównie dla termofilnych promieniowców, która wyniosła 1083 jtk/m³. Była to jedna z dwóch najwyższych wartości uzyskana w badanych punktach pomiarowych. Pozostałe liczebności drobnoustrojów przedstawiały się następująco: bakterie Gram-ujemne – 333 jtk/m³, grzyby 4750 jtk/m³ oraz ogólna liczba bakterii 6750 jtk/m³. Dla tego punktu pomiarowego wilgotność względna powietrza wyniosła 41,2%, zaś temperatura 20,5°C.

Najwyższe wartości stężenia bakterii Gram-ujemnych (bakterii chorobotwórczych) zaobserwowano w toalecie szkolnej – w ilości 1583 jtk/m³, zaś najniższe dla tego punktu pomiarowego było stężenie grzybów – 2750 jtk/m³. Na tak dużą wartość mogła mieć wpływ wilgotność powietrza, która przy temperaturze 19°C wyniosła aż 48,1%.

Kolejnym punktem pomiarowy był korytarz. Dokładnie próbki powietrza zostały pobrane w miejscu prowadzącym do biblioteki, obok sali „E” i kancelarii ogólnej. Przy wilgotności względnej powietrza 42,4% oraz temperaturze 21,2°C wyniki przedstawiały się następująco: termofilne promieniowce – 667 jtk/m³, bakterie Gram-ujemne – 667 jtk/m³, grzyby – 4083 jtk/m³, ogólna liczba bakterii – 5500 jtk/m³. Przedstawione wartości wskazują, że powietrze z korytarza nie stanowi poważnego zagrożenia mikrobiologicznego. Wyniki są blisko dwa razy mniejsze od tych uzyskanych dla najbardziej zanieczyszczonych punktów pomiarowych.

Biblioteka jest miejscem często odwiedzanym przez studentów, dlatego także tu również zostały pobrane próbki powietrza. Wyniki przedstawiały się następująco: liczebność termofilnych promieniowców wyniosła 500 jtk/m³, bakterii Gram-ujemnych – 917 jtk/m³, grzybów 3750 jtk/m³, ogólnej liczby bakterii 4500 jtk/m³. Podczas dokonywania pomiarów wilgotność powietrza stanowiła 42,2%, a temperatura 22, 4°C. W porównaniu do innych pomieszczeń najliczniej występują bakterie Gram-ujemne. Poza czytelnią kontroli poddano magazyn biblioteczny. W tym przypadku dla trzech typów drobnoustrojów zanieczyszczenie mikrobiologiczne powietrza okazało się wyższe niż w bibliotece i wyniosło dla termofilnych promieniowców 750 jtk/m³, grzybów 4750 jtk/m³, ogólnej liczby bakterii 6083 jtk/m³. Niższa wartość została zaobserwowana dla bakterii Gram-ujemnych w przypadku metody zderzeniowej. Parametry mikroklimatu wyniosły odpowiednio dla wilgotności względnej powietrza 43,2% oraz 24,2°C dla temperatury. Jakość powietrza w archiwach, bibliotekach i ich zapleczach uwarunkowana jest od ilości i jakości znajdujących się tam zasobów. Stanowią je przede wszystkim książki, encyklopedie, czasopisma często o wydaniach archiwalnych. W takich miejscach często zalega kurz, zanieczyszczenia pyłowe, co stanowi dobre źródło pokarmu dla drobnoustrojów. Większa wilgotność i temperatura w magazynie bibliotecznym sprzyja głównie rozwojowi pleśni, co jest widoczne na ścianach pomieszczenia jak i znajduje potwierdzenie w wynikach badań. Liczebność grzybów w magazynie bibliotecznym wyniosła 4750 jtk/m³.

Jakość powietrza zewnętrznego wpływa bezpośrednio na stan powietrza wewnątrz budynku. Zanieczyszczenia charakterystyczne dla danego obszaru podczas wietrzenia będą przedostawać się do pomieszczeń i warunkować jakość powietrza. Temperatura, wilgotność względna powietrza, opady atmosferyczne, siła wiatru, pora roku to czynniki kształtujące liczbę drobnoustrojów w powietrzu. Próbkę do analizy zostały pobrane w październiku, a więc w porze jesiennej, gdzie temperatura powietrza wyniosła 9,9°C, a wilgotność względna 81,5%. Były to najbardziej skrajne wartości wśród wszystkich punktów pomiarowych. W czasie zimy i jesieni występuje w powietrzu mniej drobnoustrojów, niż latem ze względu na wiatr, który z mokrej, pokrytej śniegiem gleby nie przenosi tak dużej ilości mikroorganizmów. Ponadto cykl rozwojowy wielu gatunków drobnoustrojów przebiega w wyższych temperaturach. Dla punktu pomiarowego usytuowanego przed wejściem do budynku 02 wyniki przedstawiały się następująco: 250 jtk/m³

dla termofilnych promieniowców, 250 jtk/m³ dla bakterii Gram-ujemnych, 4667 dla grzybów oraz 4583 dla ogólnej liczby bakterii. Na podstawie tych wartości można stwierdzić, że zanieczyszczanie mikrobiologiczne powietrza wewnątrz budynku jest większe niż na zewnątrz. W tym przypadku stan powietrza na zewnątrz nie miał istotnego wpływu na to jak duże będą zanieczyszczenia w pomieszczeniach szkolnych. Większą uwagę należy zwrócić na system wentylacji i klimatyzacji oraz stan czystości sal wykładowych i laboratoryjnych, bo ten czynnik okazał się być najbardziej istotny dla przeprowadzonej kontroli jakości powietrza.

4. Opis przyjętych kryteriów i zasad oceny

Odpowiednia interpretacja wyników pomiarów byłaby możliwa w przypadku obowiązywania prawnie zaakceptowanych standardów dotyczących ilości mikroorganizmów w powietrzu. Brak powszechnie obowiązujących kryteriów oceny i wartości dopuszczalnych utrudnia wydanie jednoznacznej opinii na temat skali zanieczyszczenia. Niemniej jednak zwiększające się zainteresowanie tematem jakości powietrza wewnętrznego daje swój wyraz w licznych propozycjach grup naukowców dotyczących norm i zaleceń dopuszczalnych stężeń. Porównanie otrzymanych w pracy wyników badań do wartości proponowanych przez Zespół Ekspertów ds. Czynniki Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. NDS I NDN czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy pozwoli na bardziej szczegółową interpretację wyników. Propozycje Zespołu przedstawiono w tabeli 6.

Dla pomieszczeń użyteczności publicznej i mieszkań zostały zaproponowane następujące wartości dopuszczalnych stężeń: dla bakterii Gram-ujemnych 200 CFU/m³, dla termofilnych promieniowców 200 CFU/m³ oraz 5000 CFU/m³ dla grzybów [2]. Porównując te wartości do otrzymanych w pracy wynika, że tylko w nielicznych przypadkach nie zostały przekroczone wartości progowe. W przypadku termofilnych promieniowców jedynie sala komputerowa miała wartość poniżej 200 CFU/m³. W pozostałych pomieszczeniach liczba ta została kilkakrotnie przekroczona i dla najbardziej zanieczyszczonego punktu pomiarowego, tj. sali gimnastycznej wyniosła aż 1750 CFU/m³, zaś dla bakterii Gram-ujemnych wyniosła 1500 CFU/m³. Punkt pomiarowy na auli wykładowej jest miejscem spełniającym zalecenia ekspertów i stwierdzono tu wartość 167 CFU/m³. Reszta pomieszczeń

przekracza wartości dopuszczalnych stężeń i w przypadku bakterii Gram-ujemnych wyniosła 1583 CFU/m³ dla sanitariatu oraz 1500 CFU/m³ dla sali gimnastycznej. Jedynie pomiary dla grzybów pleśniowych dają szansę na pozytywną opinie, bo zgodnie z propozycją ekspertów tylko na sali komputerowej wartość przekraczała 5000 CFU/m³, a na sali gimnastycznej liczebność grzybów wyniosła 4917 CFU/m³. Wartości stężeń drobnoustrojów otrzymane w metodzie zderzeniowej są znacznie wyższe od wartości otrzymanych w metodzie sedymentacyjnej.

Tabela 6. Propozycje zespołu ekspertów ds. czynników biologicznych zalecanych stężeń drobnoustrojów i endotoksyny w powietrzu pomieszczeń biurowych

Czynnik mikrobiologiczny	Dopuszczalne stężenie	
	Pomieszczenia robocze zanieczyszczone pyłem organicznym	Pomieszczenia mieszkalne i użyteczności publicznej
Bakterie mezofilne	100 000 CFU/m ³	5000 CFU/m ³
Bakterie Gram-ujemne	20 000 CFU/m ³	200 CFU/m ³
Termofilne promieniowce	20 000 CFU/m ³	200 CFU/m ³
Grzyby	50 000 CFU/m ³	5000 CFU/m ³
Endotoksyna bakteryjna	200 ng/m ³	5 ng/m ³
Czynniki z 3 i 4 grupy zagrożenia	0 CFU/m ³	0 CFU/m ³

* CFU – jednostki tworzące kolonie (colony forming units)

Źródło: [2, s. 29–31]

Poza polskimi sugestiami zespołu badaczy istnieją także inne rządowe organizacje i instytucje określające wartości referencyjne dla ogólnej liczby bakterii. Dla przykładu chińskie normy krajowe w dokumencie z 1996 roku wyznaczają $4,0 \times 10^3$ CFU/m³, jako wartość graniczną dla sal szkolnych [3].

Niestety, nawet wschodnie standardy nie pozwalają na pozytywną interpretację, bo najniższy uzyskany wynik w salach wykładowych dla ogólnej liczby bakterii wyniósł $4,5 \times 10^3$ CFU/m³. Według tych propozycji powietrze z salach wykładowych kwalifikuje się do kategorii bardzo zanieczyszczonych. W tym samym dokumencie wyróżnia się odrębne wartości normatywne dla bibliotek, muzeów i galerii – $2,5 \times 10^3$ CFU/m³. W bibliotece szkolnej w metodzie sedymentacyjnej wynik mieści się w zaproponowanych normach (wyniósł 2440 CFU/m³), ale w metodzie zderzeniowej wynik jest nie do zaakceptowania, bo stężenie wyniosło aż 4500 CFU/m³.

Niektórzy naukowcy na podstawie własnych obserwacji i doświadczeń dostarczają nowe propozycje wartości normatywnych dla występujących w powietrzu mikroorganizmów. Amerykański ekspert w dziedzinie jakości środowiska wewnętrznego ThadGodish stwierdza, że środowisko wolne od zanieczyszczeń to te gdzie wartość drobnoustrojów jest niższa niż $1,0 \times 10^2$ CFU/m³ w pobranej próbce powietrza [3]. Podążając za tym, okazuje się, że w żadnym z badanych punktów pomiarowych na terenie uczelni nie udało się wyznaczyć wolnego od zanieczyszczeń pomieszczenia. Ten sam badacz wskazuje jednocześnie, że wysoki poziom skażenia mikrobiologicznego występuje przy przekroczeniu $1,0 \times 10^3$ CFU/m³.

Prof. Harriet A. Burge w badaniach porównuje wartości stężeń drobnoustrojów w powietrzu atmosferycznym z wartościami stężeń w budynkach użyteczności publicznej. Określając stężenia bioaerozoli w środowisku wewnętrznym stwierdza, że *„jeżeli mikroflora aerozolu wnętrza różni się jakościowo od mikroflory powietrza zewnętrznego, a jego stężenie, co najmniej dwukrotnie przekracza stężenie w powietrzu zewnętrznym i jest większe niż $1,0 \times 10^3$ CFU/m³ – należy podjąć działania higieniczne”* [3]. Według powyższej zasady po przeprowadzonej kontroli należałoby w kilku pomieszczeniach uczelni podjąć działania higieniczne. W szczególności dla sali gimnastycznej i komputerowej, gdzie w przypadku ogólnej liczby bakterii na zewnątrz odnotowano 4583 CFU/m³, a wewnątrz tych pomieszczeń odpowiednio: 12667 CFU/m³ oraz 9917 CFU/m³.

Powyższe, jak i inne standardy wartości dopuszczalnych stężeń, mogą być jedynie potraktowane, jako pomocnicze wartości referencyjne, bo żadna z nich nie posiada statusu prawnie obowiązujących norm. Nadal niewypracowany standard krajowy, ani nawet światowy nie pozwoli na trafną analizę wyników pod kątem wskazania klasy czystości powietrza wewnętrznego.

Niemniej jednak niepokoi fakt, że w porównaniach różnych propozycji ekspertów, z różnych krajów jakość powietrza w pomieszczeniach uczelni wypada niekorzystnie. Daje to podstawę do dalszych przemyśleń i podjęcia działań zmierzających do wyeliminowania wewnętrznych źródeł zanieczyszczeń.

5. Podsumowanie

Światowa Organizacja Zdrowia wydała deklarację „Prawo do zdrowego powietrza wewnętrznego”, której punktem wyjścia jest ochrona środowiska naturalnego i zdrowia człowieka. Fundamentalna zasada tego dokumentu głosi, że zgodnie z prawem człowieka do zdrowia, każdy ma prawo oddychać zdrowym powietrzem wewnętrznym [1]. Każdy człowiek jest uprawniony do pracowania i uczenia się w warunkach przyjaznych dla jego organizmu i ma prawo do uzyskania informacji o narażeniu na potencjalne czynniki szkodliwe. W teorii wygląda to jasno i logicznie, ale w praktyce sytuacja jest już zupełnie inna.

Za główne przyczyny złych warunków środowiskowych wewnątrz budynku uznaje się: czynniki chemiczne (lotne związki organiczne), zjawiska elektrostatyczne i radiacyjne, hałas i wibracje, a w szczególności zanieczyszczenia mikrobiologiczne (bakterie, grzyby, drożdżaki). Dodatkowym elementem mogącym zwiększyć lub zmniejszyć wymienione czynniki jest odpowiednia wymiana powietrza w budynku. Przy nieefektywnym działaniu systemów wentylacyjnych i klimatyzacji, braku właściwej obsługi i konserwacji dochodzi do powstania nowych źródeł zanieczyszczeń. Mając na uwadze zapewnienie użytkownikom budynku odpowiednich warunków mikroklimatu i jakości powietrza, należy podjąć takie działania techniczne i organizacyjne, które ograniczą występowanie czynników szkodliwych.

W prawodawstwie polskim, jak również w innych krajach brakuje dokładnie sprecyzowanych standardów i norm określających dopuszczalne wartości zanieczyszczeń biologicznych w powietrzu. Pomimo licznych propozycji badaczy i niezależnych grup naukowców nie ma obecnie udowodnionej epidemiologicznie i eksperymentalnie relacji między stężeniem danego czynnika biologicznego, a zdrowotnym skutkiem wywołanym jego oddziaływaniem [3]. Ustanowienie prawnie obowiązujących norm stężenia bioaerozoli pozwoli na jasną interpretację wyników, podjęcie działań profilaktycznych i prewencyjnych, ale w szczególności uświadomienie użytkownikom zagrożenia, jakie niosą za sobą biologiczne zanieczyszczenia.

Docenienie problemu medycyny pracy w zakresie narażenia na czynniki biologiczne pozwala na określenie grup pracowników podatnych na ich niekorzystny wpływ, ale zagrożenie dotyczy każdego człowieka przebywającego w zanieczyszczonym pomieszczeniu. Narażenie na bioaerozole jest zjawiskiem powszechnym prowadzącym do pojawienia się wielu niekorzystnych skutków zdrowotnych, poczynając od zwykłych podrażnień błon śluzowych, przez reakcje alergiczne, aż do wystąpienia infekcji, reakcji toksycznych i chorób zakaźnych. Nawet przy tak poważnych zachorowaniach często nie doszukuje się negatywnych wpływów wynikających z przebywania w pomieszczeniach zamkniętych, głównie z tego powodu, że pojawiające się objawy są często typowe dla zupełnie innych stanów chorobowych. Dopiero wnikliwy wywiad lekarski może naprowadzić na prawdziwe przyczyny zachorowań i wytyczyć zaradcze działania naprawcze.

Wnioski

W Szkole Głównej Służby Pożarniczej została przeprowadzona kontrola jakości powietrza pod względem zanieczyszczeń mikrobiologicznych, której wyniki badań nie są zadowalające.

1. Według propozycji dopuszczalnych stężeń drobnoustrojów opracowanych przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN tylko nieliczne punkty pomiarowe mieściły się w granicach wartości referencyjnych.
2. Miejscem o najwyższym stężeniu zanieczyszczeń mikrobiologicznych jest sala gimnastyczna i pracownia komputerowa.
3. W interpretacji wyników zauważono różnice między wartościami uzyskanymi w metodzie zderzeniowej i metodzie sedymentacyjnej. Różnice podyktowane były faktem użycia w metodzie zderzeniowej specjalnego aparatu do mechanicznego pobierania próbek, przez co otrzymane wyniki okazały się bardziej precyzyjne.
4. Uzyskane wyniki potwierdzają korzystny wpływ systemu wentylacyjno-klimatyzacyjnego na jakość powietrza wewnętrznego.
5. Uzyskane wyniki skłaniają do wyznaczenia dalszych działań naprawczych a w przyszłości prewencyjnych, aby zapewnić pracownikom i studentom zadowalającą jakość wdychanego powietrza.

6. Mając na celu zdrowie i komfort studentów oraz wykładowców należy wykryć i usunąć źródła zanieczyszczeń, kontrolować system wentylacji i klimatyzacji, przewietrzać pomieszczenia i uświadomić użytkowników o konieczności dbania o jakość powietrza wewnętrznego dla dobra własnego i publicznego.

Literatura

- [1] Bogdan A., Charkowska A., Instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne – kontrola stanu higienicznego, *Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka* 2008, nr 7, s. 36–40.
- [2] Gołofit-Szymczak M., Skowroń J., Zagrożenia mikrobiologiczne w pomieszczeniach biurowych, *Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka* 2005, nr 3, s. 29–31.
- [3] Górny R., Biologiczne Czynniki szkodliwe: normy, zalecenia i propozycje wartości dopuszczalnych, *Podstawy i metody oceny środowiska pracy* 2004, nr 3, s. 21.
- [4] Jasińska B., Metody oceny skażenia obiektów budowlanych grzybami pleśniowymi, *Foundations of Civil and Environmental Engineering* 2002, nr 3, s. 51.
- [5] Kaiser K., Wolski A., Kontrola czystości mikrobiologicznej powietrza, *Technika chłodnicza i klimatyzacyjna* 2007, nr 4, s. 159.
- [6] Kaiser K., Wolski A., Kontrola czystości mikrobiologicznej powietrza, *Technika chłodnicza i klimatyzacyjna* 2007, nr 4, s. 158–162.
- [7] <http://www.serwimed.pl/userfiles/serwimed-debica-wynik-badan-bakteriologicznych.pdf> [dostęp 18.01.2017].