

OPRACOWANIE NARZĘDZI DO OCENY NARAŻENIA
PRACOWNIKÓW SORTOWNI ODPADÓW KOMUNALNYCH
NA SZKODLIWE CZYNNIKI BIOLOGICZNE
ORAZ ZALECEŃ DO PROFILAKTYKI

Okres realizacji: 17.09.2014 – 25.10.2015

na podstawie umowy zawartej pomiędzy Zakładem Ubezpieczeń Społecznych
i Centralnym Instytutem Ochrony Pracy-Państwowym Instytutem Badawczym w dniu 17.09.2014 r.

ETAP I:

Pomiar i identyfikacja szkodliwych czynników biologicznych na wybranych
stanowiskach pracy w sortowniach odpadów komunalnych

Okres realizacji: 17.09.2014 – 1.12.2014

Autorzy opracowania

dr hab. n. med. Rafał L. Górny, prof. CIOP-PIB, dr n. med. Marcin Cyprowski, dr n. tech. Małgorzata Gołofit-Szymczak, dr n. tech. Anna Ławniczek-Wałczyk, dr inż. Agata Stobnicka

SPIS TREŚCI	3
1. STRESZCZENIE	4
2. HARMONOGRAM REALIZACJI ZADANIA	5
3. CEL GŁÓWNY I CELE SZCZEGÓŁOWE PRACY	6
4. DOTYCHCZASOWY STAN WIEDZY	6
5. METODYKA BADAŃ	8
5.1. MIEJSCE POBIERANIA PRÓBEK	8
5.2. METODYKA BADAŃ BIOAEROSOLI	9
5.3. ANALIZA LABORATORYJNA PRÓBEK BIOAEROSOLI	11
5.4. IDENTYFIKACJA MIKROORGANIZMÓW	12
5.5. POMIAR WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ I TEMPERATURY POWIETRZA	15
5.6. METODYKA ANALIZY STATYSTYCZNEJ WYNIKÓW POMIARÓW	15
6. OPIS UZYSKANYCH WYNIKÓW	17
6.1. BIOAEROSOLE NA STANOWISKACH PRACY	17
6.2. ROZKŁADY ZIARNOWE BIOAEROSOLI W SORTOWNIACH	32
6.3. TEMPERATURA I WILGOTNOŚĆ WZGLĘDNA POWIETRZA NA BADANYCH STANOWISKACH	33
7. ANALIZA WYNIKÓW	35
8. WNIOSKI	37
9. BIBLIOGRAFIA	38

Celem I etapu projektu było przeprowadzenie pomiarów oraz identyfikacja szkodliwych czynników biologicznych na wybranych stanowiskach pracy w sortowniach odpadów komunalnych w Polsce. Do badań wytypowano 3 sortownie odpadów komunalnych (oznaczone w pracy jako S1-S3), o możliwościach segregowania odpadów w zakresie od 35000 do 150000 ton/rok. Wytypowane obiekty przyjmowały odpady zarówno z dużych miast, jak i z mniej zaludnionych obszarów, gdzie gminy zrzeszyły się w tak zwane związki międzygminne zajmujące się gospodarką odpadami. W każdym z badanych zakładów, w porozumieniu z osobą odpowiedzialną za bezpieczeństwo i higienę pracy, wyznaczono punkty pomiarowe w łącznej liczbie 23, z czego 3 punkty były miejscami pobierania próbek dla wyznaczenia tzw. poziomu zanieczyszczenia środowiskowego tła. Wszystkie pomiary bioaerozoli przeprowadzono w okresie letnio-jesiennym. Próbki powietrza pobierano za pomocą 1-stopniowego impaktora MAS 100NT oraz 6-stopniowego impaktora Andersena.

Najwyższe poziomy bakterii obserwowano na stanowisku pracy ładowczy (podczas dostarczania odpadów do sortowni), a także na stanowiskach sortowaczy. Najwyższymi stężeniami grzybów charakteryzowały się natomiast stanowiska pracy sortowaczy oraz operatorów maszyn. Średnie stężenia bakterii w powietrzu wahały się w zakresie od 1013 jtk/m³ (sortownia S3) do 3245 jtk/m³ (sortownia S2). W przypadku aerozolu grzybowego najniższe poziomy odnotowano w sortowni S2 (482 jtk/m³), zaś najwyższe w sortowni S3 (4343 jtk/m³). Jedyne przekroczenia wartości dopuszczalnych dla badanych bioaerozoli stwierdzono dla aerozolu grzybowego na stanowiskach sortowaczy, gdzie zmierzone jego stężenia przekraczały od 15% do 60% zalecaną wartość, ustaloną na poziomie 50000 jtk/m³. Zakresy stężeń bakterii i grzybów przyczyniły się do tego, że pomimo różnic średnich wartości stężeń w badanych sortowniach, test Kruskala-Wallisa nie wykazał istotnej statystycznie różnicy pomiędzy badanymi zakładami pracy ($p > 0,05$). Analiza porównawcza wykazała natomiast istotne statystycznie różnice pomiędzy stężeniami bakterii na stanowiskach pracy ($p < 0,05$). Różnice takie były także widoczne dla obu badanych grup drobnoustrojów pomiędzy wynikami pomiarów na stanowiskach pracy w sortowniach, a stężeniami w próbkach tła ($p < 0,05$).

Analiza jakościowa wykazała duże zróżnicowanie taksonomiczne drobnoustrojów występujących w powietrzu. W przypadku bakterii zidentyfikowano łącznie 52 gatunki należących do 27 rodzajów. Wśród nich dominowały laseczki Gram-dodatnie z rodzaju *Bacillus* (9 gatunków), ziarenkowce Gram-dodatnie z rodzaju *Staphylococcus* (7 gatunków) oraz pałeczki Gram-ujemne z rodzaju *Pseudomonas* (5 gatunków). Wśród grzybów stwierdzono obecność łącznie 49 gatunków należących do 19 rodzajów, z czego najliczniej reprezentowane były pleśnie z rodzajów *Penicillium* oraz *Aspergillus* (po 10 gatunków). Analiza jakościowa wykazała ponadto obecność 14 gatunków/rodzajów bakterii i 1 gatunku grzyba pleśniowego sklasyfikowanych w grupie 2. zagrożenia według rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2005 r. Analiza rozkładów ziarnowych wykazała, iż większość cząstek bakteryjnych występowała w postaci drobnych i dużych agregatów, natomiast grzybowych w postaci pojedynczych spor i ich drobnych agregatów.

pn. „Opracowanie narzędzi do oceny narażenia pracowników sortowni odpadów komunalnych na szkodliwe czynniki biologiczne oraz zaleceń do profilaktyki”

Termin realizacji: 17.09.2014 - 25.10.2015

Rezultat do rozliczenia <i>(nr i tytuł etapu)</i>	Termin realizacji etapu
1. Pomiar i identyfikacja szkodliwych czynników biologicznych na wybranych stanowiskach pracy w sortowniach odpadów komunalnych	17.09.2014 01.12.2014
2. Ocena narażenia na szkodliwe czynniki biologiczne pracowników sortowni odpadów, opracowanie list kontrolnych oraz zaleceń do oceny i ograniczania narażenia na szkodliwe czynniki biologiczne w sortowniach odpadów komunalnych	02.12.2014 25.10.2015

Celem głównym projektu jest opracowanie narzędzi do oceny narażenia pracowników sortowni odpadów komunalnych na szkodliwe czynniki biologiczne oraz zaleceń do profilaktyki. Cel ten będzie realizowany poprzez następujące cele szczegółowe:

- Badania mikrobiologiczne obejmujące ilościową i jakościową charakterystykę szkodliwych czynników biologicznych (bakterii i grzybów) występujących w powietrzu na stanowiskach pracy w czterech sortowniach odpadów komunalnych (w tym opracowanie wyników badań w formie raportów, dla każdego z badanych zakładów pracy);
- Opracowanie list kontrolnych do oceny narażenia zawodowego na szkodliwe czynniki biologiczne dla pracowników w sortowniach odpadów komunalnych;
- Opracowanie zaleceń dla pracowników sortowni odpadów, pracowników odpowiedzialnych za bezpieczeństwo i higienę pracy oraz pracowników inspekcji sanitarnych dotyczących ograniczania narażenia na szkodliwe czynniki biologiczne.

Według danych Głównego Urzędu Statystycznego, w 2012 r. w Polsce wytworzono ponad 12 mln ton odpadów komunalnych, co w przeliczeniu stanowiło około 314 kg odpadów na 1 mieszkańca naszego kraju [1]. Podstawowym sposobem postępowania z zebranymi odpadami komunalnymi było deponowanie ich na składowiskach (62% ogólnej ilości zebranych odpadów). Około 90% wszystkich zebranych odpadów komunalnych stanowiły odpady zmieszane, tzn. takie, z których nie wyselekcjonowano surowców do ponownego wykorzystania (recyklingu). Najnowsza dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z 19 listopada 2008 r. promuje ideę „społeczeństwa recyklingu”, dążącego do eliminacji wytwarzania odpadów i do ponownego ich wykorzystywania jako zasobów [2]. Zobowiązuje ona państwa członkowskie Wspólnoty Europejskiej do podejmowania działań umożliwiających wspieranie ponownego wykorzystania zużytych produktów. Szczególne znaczenie w tym zakresie ma propagowanie i realizowanie selektywnej zbiórki odpadów, co ma pozwolić na osiągnięcie ustalonych w dyrektywie celów. Implementacyjną konsekwencją dyrektywy jest znowelizowana ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach z 13 września 1996 r., która ma na celu usprawnienie systemu gospodarki odpadami, w tym zorganizowanie odbioru i zagospodarowania odpadów komunalnych [3]. Istotnym elementem tego systemu są instalacje, w których prowadzona jest kompleksowa segregacja odpadów.

Według danych z 2009 r. [4], w Polsce funkcjonowało ponad 150 sortowni odpadów komunalnych i wszystko wskazuje na to, że liczba ta będzie się powiększać tak, by w 2020 roku minimum 50% odpadów z gospodarstw domowych poddawanych było recyklingowi. Uruchomienie tego typu instalacji wiąże się ze wzrostem liczby pracowników zatrudnionych przy sortowaniu odpadów. Szacuje się, że w sektorze zagospodarowania odpadów komunalnych zatrudnionych jest ponad 13 tys. pracowników, w tym ok. 7 tys. w warunkach narażenia zawodowego na działanie

szkodliwych czynników biologicznych (SCB). Tego rodzaju praca wiąże się narażeniem na pył organiczny, w tym na zawarte w nim szkodliwe czynniki biologiczne. W tak specyficznym środowisku pracy stężenia pyłu mogą sięgać nawet 10 mg/m^3 [5], przekraczając tym samym ponad dwukrotnie obowiązującą w Polsce wartość NDS, ustaloną na poziomie 4 mg/m^3 [6]. Najwyższe zapylenie odnotowywane jest podczas dostarczania odpadów do sortowni i ich wyładunku. Na wysokość poziomu zapylenia mogą mieć wpływ wielkość zakładu sortującego oraz techniczne parametry instalacji wentylacyjnej, która pozwala skutecznie ograniczyć rozprzestrzenianie się pyłu w kabinach sortowniczych [7]. Wraz ze stałymi cząstkami aerozolu ziarnistego, w powietrzu na stanowiskach pracy obecne są także bakterie i grzyby, których stężenia mogą osiągać wartości 10^4 – 10^5 jednostek tworzących kolonie w 1 m^3 powietrza (jtk/m^3) [8]. W pyłe organicznym mogą występować drobnoustroje o właściwościach chorobotwórczych dla człowieka, które są klasyfikowane w grupach 2. i 3. zagrożenia według rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki [9]. Można tu wymienić przede wszystkim bakterie pochodzenia kałowego z rodziny *Enterobacteriaceae*, ziarenkowce z rodzaju *Enterococcus*, a także grzyby z rodzajów *Aspergillus* i *Penicillium*. Ponadto istotnym czynnikiem ryzyka dla pracowników sortowni odpadów są wirusy HAV i HBV, pasożyty wewnętrzne człowieka (glista ludzka, pełzak czerwony, włosień kręty) oraz różnego rodzaju toksyny czy związki o podobnym do nich działaniu pochodzenia mikrobiologicznego (endotoksyny, egzotoksyny, mikotoksyny, β -glukany) [10].

Zgodnie z wymaganiami dyrektywy 2000/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 września 2000 r. w sprawie ochrony pracowników przed ryzykiem związanym z narażeniem na działanie czynników biologicznych w miejscu pracy [11], jak i rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r., pracodawca jest zobowiązany do przeprowadzania i dokumentowania oceny ryzyka zawodowego. Jak wynika z kontroli Państwowej Inspekcji Pracy prowadzonych na przestrzeni kilku ostatnich lat, w podmiotach prowadzących działalność w zakresie gospodarowania odpadami komunalnymi, w ponad połowie przedsiębiorstw nie była przeprowadzona analiza ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniami biologicznymi. Uchybienia dotyczyły również braku instrukcji bhp dotyczących procesów pracy, np. ręcznego sortowania [12].

W wielu przypadkach konsekwencją narażenia na SCB jest wystąpienie chorób zawodowych. W 2013 r. stwierdzono w Polsce łącznie 2214 chorób zawodowych, z czego najliczniej rozpoznawane były wywołane czynnikami biologicznymi choroby zakaźne lub pasożytnicze oraz ich następstwa (590 przypadków, tj. 27% ogółu chorób zawodowych). Na podstawie wstępnych badań środowiskowych prowadzonych przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi [13-14] można wnioskować, iż praca w sortowniach wiąże się ze znaczną absencją chorobową części pracowników, która może przekroczyć nawet 200 dni w ciągu roku. Istotne jest zatem, aby dobrze rozpoznać narażenie na szkodliwe czynniki biologiczne i dążyć do ograniczania ryzyka zdrowotnego pracowników sortowni.

Ograniczenie negatywnego działania SCB w środowisku pracy jest możliwe poprzez prowadzenie prawidłowych działań profilaktycznych, takich jak instalowanie nowoczesnych

systemów wentylacyjnych, odpylających i hermetyzacja procesu produkcji ograniczająca emisję SCB; zachowanie odpowiednich warunków sanitarnych i stosowanie urządzeń odkażających w miejscu pracy; stała opieka lekarska i badania profilaktyczne pracowników; stosowanie indywidualnych środków ochronnych dostosowanych do specyfiki zagrożeń; wykonywanie szczepień ochronnych wysoce narażonych grup pracowników oraz efektywna oświata zdrowotna.

Wyniki przeprowadzonych w ramach niniejszego projektu badań mikrobiologicznych obejmujących ilościową i jakościową charakterystykę szkodliwych czynników mikrobiologicznych występujących w powietrzu na stanowiskach pracy w sortowniach odpadów komunalnych zostaną opracowane w formie raportów i przekazane do 3 badanych zakładów pracy. Uzyskane wyniki badań mikrobiologicznych będą stanowiły podstawę do opracowania, w drugim etapie pracy, list kontrolnych do oceny narażenia zawodowego na SCB dla pracowników w sortowniach odpadów komunalnych, a także pozwolą na opracowanie zaleceń do profilaktyki, które będą uwzględniały najistotniejsze parametry techniczne instalacji sortowniczych, a także rodzaje dostarczanych odpadów, tak by skutecznie ograniczyć ryzyko narażenia na SCB tej grupy pracowników. Wyniki realizowanej pracy naukowo-badawczej powinny stanowić integralną część działań zapobiegawczych w tego typu zakładach pracy, zgodnych z założeniami filozofii STOP. Zakłada ona zhierarchizowany sposób prewencji przed szkodliwymi czynnikami biologicznymi. Ochronę pracowników należy zaczynać od działań Systemowych (prawnych), a następnie, w obrębie przedsiębiorstwa, działań Technicznych, Organizacyjnych i na końcu działań mających na celu ochronę indywidualnego pracownika (z j. ang. Personal) [13].

Realizacja niniejszego projektu przyczyni się do zwiększenia bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników sortowni odpadów komunalnych. Pozwoli to na obniżanie poziomu absencji (z powodu chorób wywołanych przez szkodliwe czynniki biologiczne) oraz przedłużenie aktywności zawodowej większej liczby osób.

5 METODYKA BADAŃ

5.1. MIEJSCE POBIERANIA PRÓBEK

Zgodnie z założonym harmonogramem, do badań wytypowano 3 sortownie odpadów komunalnych (oznaczone jako S1-S3), o możliwościach segregowania odpadów w zakresie od 35000 do 150000 ton/rok. Wytypowane obiekty przyjmowały odpady zarówno z dużych miast, jak i z mniej zaludnionych obszarów, gdzie gminy zrzeszyły się w tak zwane związki międzygminne zajmujące się gospodarką odpadami. W każdym z badanych zakładów, w porozumieniu z osobą odpowiedzialną za bezpieczeństwo i higienę pracy, wyznaczono punkty pomiarowe w łącznej liczbie 23, z czego 3 punkty były miejscami pobierania próbek dla wyznaczenia tzw. poziomu zanieczyszczenia środowiskowego tła, które były oddalone około 50 m od ogrodzenia sortowni. W sumie badaniami objęto 3 stanowiska ładowacza, 1 stanowisko kierowcy, 3 stanowiska operatora maszyn, 9 stanowisk sortowaczy, 2 stanowiska pracowników przeładowni oraz 2 stanowiska

pracowników placowych. Pełną listę miejsc pobierania próbek powietrza przedstawiono w tabeli 1. Wszystkie pomiary bioaerozoli przeprowadzono w okresie letnio-jesiennym i zostały one wykonane zgodnie z polskimi normami PN-EN 13098:2007, PN-EN 14042:2010 i PN-EN 14583:2008 [15-17].

Tabela 1. Miejsca pobrania próbek powietrza na obecność szkodliwych czynników biologicznych na stanowiskach pracy w wytypowanych sortowniach odpadów.

Sortownia	Numer punktu pomiarowego	Nazwa stanowiska pracy	Metoda pomiarowa
S1	1	Ładowacz	M
	2	Ładowacz	M
	3	Operator maszyn	M
	4	Sortowacz	M
	5	Sortowacz	M
	6	Sortowacz	M
	7	Sortowacz	M
	8	Sortowacz	M
	9	Operator maszyn	M
	10	Pracownicy przeładowni	M
	11	Pracownicy placowi	M
	12	Próbka tła	M
S2	1	Ładowacz	M
	2	Sortowacz	M
	3	Sortowacz	M
	4	Sortowacz	M
	5	Pracownicy przeładowni	M
	6	Pracownicy placowi	M
	7	Próbka tła	M
S3	1	Sortowacz	A
	2	Operator maszyn	A
	3	Kierowca	A
	4	Próbka tła	A

A – próbki pobierane 6-stopniowym impaktorem Andersena

M – próbki pobierane 1-stopniowym impaktorem MAS 100NT

5.2. METODYKA BADAŃ BIOAEROZOLI

Próbki powietrza zostały pobrane stacjonarnie za pomocą 1-stopniowego impaktora typu MAS (model 100NT, Merck, Darmstadt, Niemcy - świadectwo kalibracji wydane przez producenta

impaktora z dnia 19.04.2013 r.). Impaktor jest przystosowany do standardowych płytek Petriego o średnicy 90 mm. Dzięki dwuprzepływowemu turbowentylatorowi, aspiruje on strumień powietrza przez metalową głowicę, w której znajduje się 300 otworów, każdy o średnicy 0,6 mm. Wewnątrz głowicy umieszcza się płytki Petriego z odpowiednim podłożem mikrobiologicznym. Strumień powietrza uderza o płytkę, a znajdujące się w nim drobnoustroje zostają zdeponowane na podłożu. Następnie płytki poddaje się inkubacji w temperaturze i czasie odpowiednim dla badanych grup mikroorganizmów. Po zliczeniu kolonii oraz uwzględnieniu objętości próbki ustala się stężenie drobnoustrojów w jtk/m³. Objętość aspirowanego powietrza (100 litrów) dostosowano do spodziewanego zanieczyszczenia mikrobiologicznego badanego środowiska. Na badanych stanowiskach zastosowano 1 minutowy czas pobierania próbki.

Dodatkowo dla punktów pomiarowych zlokalizowanych w sortowniach S1 i S3, próbki powietrza zostały pobrane za pomocą 6-stopniowego impaktora Andersena (model 12-15, Westech Instruments Inc., Marietta, GA, USA). Podobnie jak w przypadku aspiratora MAS, impaktor Andersena ustawiano na badanym stanowisku na wysokości 1,0-1,5 m nad powierzchnią podłogi/gruntu. W badaniach aerozolu bakteryjnego i grzybowego zastosowano 5-minutowy czas aspiracji, a objętość pobranej przez impaktor próbki powietrza wynosiła każdorazowo 0,1415 m³. Zastosowanie impaktora Andersena pozwoliło na uzyskanie danych o rozkładzie ziarnowym bioaerozoli (rozdział cząstek z uwzględnieniem wielkości ich średnic aerodynamicznych na frakcje: powyżej 7, 7-4,7, 4,7-3,3, 3,3-2,1, 2,1-1,1 i 1,1-0,65 µm). Prędkość przepływu strugi powietrza na wejściu do pompy zestawu pomiarowego wynosiła 28,3 l/min. W impaktorze, na poszczególnych powierzchniach wychwytu, zachodziła separacja bioaerozolu w zakresach wyżej wymienionych średnic aerodynamicznych cząstek. Powierzchnie wychwytu stanowiły szalki Petriego (6 sztuk) z odpowiednim podłożem agarowym, umieszczone na kolejnych stopniach impaktora. Kalibracja prędkości przepływu strugi, wymuszonego przez pompę aspiratora, była dokonywana każdorazowo przed i po pomiarze za pomocą miernika przepływu Mini-Master® Flowmeter o zakresie wskazań 5-50 l/min (model MMA 25, Dwyer Instruments Inc., Michigan City, IN, USA).

Na każdym stanowisku pracy pomiary bioaerozoli, niezależnie od zastosowanego przyrządu pomiarowego, przeprowadzano w dwóch powtórzeniach, co miało na celu uśrednienie uzyskiwanych wyników, które w przypadku szkodliwych czynników biologicznych charakteryzują się dużą zmiennością w czasie i przestrzeni.

[Kontrola czystości impaktorów](#)

Każdorazowo przed pomiarem impaktor Andersena czyszczono i dezynfekowano w myjce ultradźwiękowej (Polsonic, Warszawa) z użyciem alkoholu izopropylowego.

[Podłoża mikrobiologiczne](#)

W celu pobrania próbek aerozolu bakteryjnego i grzybowego zastosowano następujące podłoża mikrobiologiczne:

- dla bakterii mezofilnych - agar tryptozowo-sojowy, TSA, z 5% dodatkiem odwłóknionej krwi baraniej (bioMérieux SA, Marcy l'Etoile, Francja),
- dla bakterii Gram-ujemnych - agar z eozyną i błękitem metylenowym, EMB (BTL, Łódź, Polska),
- dla grzybów - agar słodowy, MEA (BTL).

Podłoża dla bakterii zawierały dodatek aktidionu (50mg/l, BTL) powstrzymującego rozwój grzybów drożdżopodobnych i pleśniowych (strzępkowych). Natomiast agar słodowy zawierał dodatek chloramfenikolu (100mg/l, BTL) hamującego wzrost bakterii.

Podłoża zostały przygotowane zgodnie z instrukcjami podanymi przez ich producentów.

Kontrola jakości podłoży mikrobiologicznych

Sterylnosc podłoży mikrobiologicznych była kontrolowana każdorazowo po ich przygotowaniu. W tym celu czyste płytki z podłożami inokulowano odpowiednimi szczepami wzorcowymi: na podłoże TSA wysiewano bakterie *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 i *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027, a na podłoże EMB bakterie *Escherichia coli* ATCC 25922 i *Enterococcus faecalis* ATCC 29212. Płytki z podłożami TSA i EMB inkubowano w temperaturze 22°C i 37°C w cieplarkach (model CLN53, Pol-Eko Aparatura, Wodzisław Śląski). W celu kontroli jakości podłoża MEA wykonywano posiew szczepów wzorcowych grzybów *Aspergillus niger* ATCC 16404 i *Candida albicans* ATCC 10231, a następnie tak przygotowane płytki inkubowano w temperaturze 30°C.

Transport próbek

Z laboratorium do punktu pomiarowego oraz w drodze powrotnej płytki Petriego z podłożami mikrobiologicznymi były przewożone w pojemniku transportowym, którego dwuwarstwowa (termosowa) budowa zapewniała niezmienną (4°C) temperaturę w czasie transportu i zapobiegała ewentualnym fizycznym uszkodzeniom podłoży.

5.3. ANALIZA LABORATORYJNA PRÓBEK BIOAEROZOLI

Warunki inkubacji badanych próbek

Warunki inkubacji mikrobiologicznych próbek bioaerozoli przedstawiały się dla badanych grup mikroorganizmów następująco:

- a) bakterie: 1 dzień (37°C) + 3 dni (22°C) + 3 dni (4°C);
- b) grzyby: 4 dni (30°C) + 4 dni (22°C)

Wszystkie próbki inkubowano w cieplarkach (CLN53, Pol-Eko Aparatura) w warunkach tlenowych. Przedłużona inkubacja próbek w kierunku bakterii umożliwiała wzrost szczepom rosnącym wolno w niższym zakresie temperatur.

Wyznaczanie wartości jtk

Po okresie inkubacji, zliczeniu kolonii oraz uwzględnieniu objętości próbki wyznaczano stężenie mikroorganizmów w jednostkach tworzących kolonie w 1m³ powietrza (jtk/m³). Otrzymany wynik przeliczano w oparciu o tablicę konwersyjną dołączoną do impaktorów według następujących wzorów:

Wzór dla impaktora MAS

$$Pr = N[1/N + 1/(N-1) + 1/(N-2) + + 1/(N-r+1)]$$

gdzie:

- Pr* – wynik po korekcie,
- N* – liczba otworów w głowicy,
- r* – wynik odczytu z płytki.

Wzór dla impaktora Andersena

$$C = n / (Q \times t)$$

gdzie:

- C* – stężenie [jtk/m³]
- n* – liczba kolonii na płytce po korekcie
- t* – czas poboru [min]
- Q* – prędkość przepływu [m³/min]

Wartości jtk wyznaczano oddzielnie dla każdego impaktora oraz dla danego rodzaju lub gatunku mikroorganizmu, sumując wartości jtk z jednego (MAS 100NT) lub wszystkich sześciu stopni (Andersen). Ostateczne wartości jtk podawano po dokonaniu korekty w oparciu o tablicę konwersyjną (opracowaną przez producenta każdego impaktora), pozwalającą wynik stwierdzony empirycznie przekształcić na rzeczywistą wartość liczby jednostek tworzących kolonie, obecnych w 1 metrze sześciennym pobranego powietrza (jtk/m³).

5.4. IDENTYFIKACJA MIKROORGANIZMÓW

Analiza jakościowa aerozolu bakteryjnego

Analiza jakościowa aerozolu bakteryjnego została przeprowadzona w 4 kolejnych etapach, polegających na obserwacjach makro- i mikroskopowych oraz charakterystyce cech fizjologicznych i biochemicznych wyizolowanych szczepów. Wszystkie wyizolowane kolonie bakterii przesiewano na odpowiednie podłoża mikrobiologiczne, a następnie inkubowano w cieplarkach (CLN53, Pol-Eko Aparatura) przez 24 godziny w 37°C . W celu uzyskania czystej hodowli wyodrębnionych kolonii, posiewy wykonywano metodą redukcijną. Mikroorganizmy wyizolowane z próbek powietrza identyfikowano do szczebla rodzaju lub gatunku. W analizie posłużono się również dostępnymi kluczami taksonomicznymi: Garrity [18] oraz Goodfellow i wsp. [19].

Analiza makroskopowa

Analiza makroskopowa polegała na określeniu cech morfologicznych kolonii takich jak: wielkość, kształt, brzeg kolonii, barwa, profil, przejrzystość, konsystencja, odbarwienie podłoża oraz cech hodowlanych szczepów izolowanych na odpowiednich podłożach: TSA z krwią (bioMérieux SA), ENDO (BTL), SS (Salmonella Shigella agar, bioMérieux SA), Chapmana (bioMérieux SA) oraz 50% TSA (BTL).

Analiza mikroskopowa

Analiza mikroskopowa polegała na obserwacji preparatów mikrobiologicznych barwionych metodą Grama. Preparaty wykonano z czystych 24-godzinnych hodowli bakterii. Obserwacja mikroskopowa pozwoliła na uzyskanie informacji na temat: kształtu i wielkości komórek, ich układu względem siebie oraz występowania przetrwalników. Dodatkowo, wynik barwienia metodą Grama potwierdzano testem z 3% roztworem KOH. W przypadku niezarodnikujących pałeczek, diagnostykę uzupełniano analizą preparatów barwionych metodą Neissera, która uwidacznia charakterystyczne dla tej grupy bakterii metachromatyczne ziarnistości. Wybarwione drobnoustroje obserwowano w mikroskopie świetlnym przy powiększeniu 1000× (Eclipse E200, Nikon, Tokio, Japonia).

Analiza cech fizjologicznych

Analiza polegała na obserwacji u wyizolowanych mikroorganizmów następujących cech fizjologicznych: zdolności do wytwarzania przetrwalników, rozwoju w warunkach beztlenowych, wytwarzania barwników, ruchu (obserwacje mikroskopowe w kropli wiszącej) oraz wzrostu w różnej temperaturze (w zakresie 4-55°C) i przy różnym pH.

Analiza cech biochemicznych

Analiza cech biochemicznych bakterii polegała na określeniu ich zdolności do asymilacji, fermentacji lub rozkładu związków organicznych. W celu identyfikacji wyizolowanych kolonii bakterii zastosowano mikrotesty API (bioMérieux SA), stanowiące zminiaturyzowaną wersję szeregu biochemicznego. Test API składa się z paska z tworzywa sztucznego z mikroprobówkami zawierającymi odwodnione substraty. Analiza polegała na wprowadzeniu do każdej mikroprobówki zawiesiny czystej hodowli badanych mikroorganizmów i jej inkubacji w określonych warunkach temperaturowych. Reakcje biochemiczne zachodzące w czasie inkubacji powodują w mikroprobówkach zmiany zabarwienia (powstające samoistnie bądź po dodaniu odczynnika wskaźnikowego) lub zmętnienie. Wyniki tych reakcji odczytywano zgodnie z tabelami dostarczonymi przez producenta testów. Otrzymane w ten sposób biochemiczne profile mikroorganizmów wprowadzano do internetowej bazy danych APIweb, która umożliwia szybką interpretację testu API poprzez podanie nazwy systematycznej badanego mikroorganizmu. Informacja ta jest podawana w postaci procentu identyfikacji określającego, na ile profil otrzymany empirycznie odpowiada oznaczonemu taksonowi w porównaniu z innymi taksonami zamieszczonymi w bazie danych

programu APIweb. Na potrzeby niniejszej pracy, za wiarygodny procent identyfikacyjny uznawano wartości powyżej 80. O ostatecznej przynależności badanego mikroorganizmu do danego rodzaju lub gatunku decydowały oprócz wyników testów API rezultaty analizy makro- i mikroskopowej oraz analizy cech fizjologicznych. Do oznaczania szczepów bakterii wyizolowanych w niniejszej pracy wykorzystano następujące wystandaryzowane zestawy mikrotestów: ID 32 STAPH, API 20 STREP, API CORYNE, API 50 CHB, API 20 E oraz API 20 NE.

Analiza jakościowa aerozolu grzybowego

Analiza jakościowa aerozolu grzybowego została przeprowadzona w oparciu o klucze do oznaczania grzybów pleśniowych (strzępkowych) oraz drożdżopodobnych: Domscha i wsp. [20], Klich [21], Pitta [22], Samsona i wsp. [23], St-Germaina i Summerbella [24] oraz Krzyściaka i wsp. [25]. Grzyby wyizolowane z próbek powietrza identyfikowano do szczebla rodzaju lub gatunku.

Analiza makroskopowa grzybów pleśniowych i drożdżopodobnych

Analiza makroskopowa grzybów pleśniowych (strzępkowych) obejmowała określenie cech morfologicznych kolonii. Wyizolowane kolonie grzybów przesiewano na podłoże MEA i hodowano w cieplarkach (CLN53, Pol-Eko Aparatura) przez 7-14 dni w 25°C. Po wstępnej stereomikroskopowej ocenie morfologii kolonii (SteREO Discovery.V12, Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Niemcy) oraz analizie mikroskopowej preparatów grzybni barwionych laktofenolem (Merck KGaA, Darmstadt, Niemcy), badane szczepy grzybów przesiewano na podłoża MEA (BTL), CZ (podłoże Czapka i Doxa, BTL), CYA (Czapka-Doxa z dodatkiem ekstraktu drożdżowego, BTL) i PDA (agar glukozowoziemniaczany, BTL), a następnie inkubowano przez 7-14 dni w 25°C. Kolonie grzybów z rodzaju *Aspergillus* były identyfikowane na płytkach z podłożem CYA (BTL), MEA (BTL) i CZ (BTL) inkubowanych przez 7 dni w temperaturze 25°C oraz na podłożu CYA (BTL) w temperaturze 37°C. W celu precyzyjnej identyfikacji grzybów z rodzaju *Penicillium*, wyizolowane szczepy hodowano 7 dni na podłożu CYA (BTL) w temperaturze 25°C, 30°C i 37°C oraz na MEA (BTL), YES (podłoże z ekstraktem drożdżowym i sacharozą, BTL) i CREA (podłoże z kreatyną i purpurą bromokrezolową, BTL) w temperaturze 25°C. Po wymaganym okresie inkubacji analizowano następujące cechy kolonii: tempo wzrostu, wielkość, wyniesienie nad powierzchnię podłoża, wygląd powierzchni i brzegu kolonii, kolor jej awersu i rewersu, konsystencję, zapach, ewentualną dyfuzję pigmentu do podłoża oraz wydzielanie kropel substancji. Morfologię grzybów drożdżopodobnych oceniano na podłożu MEA i Sabouraud z dodatkiem chloramfenikolu. Płytki inkubowano przez 48-72 godzin w 25-30°C, a następnie analizowano: tempo wzrostu, wielkość, konsystencję i kolor kolonii.

Analiza mikroskopowa grzybów pleśniowych i drożdżopodobnych

Analiza mikroskopowa grzybów pleśniowych (strzępkowych) polegała na ocenie w preparatach kolonii barwionych laktofenolem (Merck KGaA) następujących cech grzybni: kształt, sposób rozgałęzienia, występowanie lub brak przegród, obecność struktur rozmnażania

bezpłciowego (wielkość i kształt konidioforów, liczba metuli, ułożenie fialid; sporangioforów; kształt, ułożenie i wielkość zarodników) i płciowego (askospor, klejstotecjów, piknidiów, sklerocjów). Ocena mikromorfologii grzybów drożdżopodobnych opierała się na obserwacji preparatów kolonii barwionych laktofenolem. Dodatkowo określano ich zdolność do tworzenia chlamydospor, strzępek lub pseudostrzępek metodą Dalmau na agarze kukurydzianym z Tweenem (Corn Meal Agar with Polysorbate 80, CMA, Oxoid). W tym celu inokulowano izolowane kolonie drożdży na podłoże CMA, a następnie przykrywano jałowym szkiełkiem nakrywkowym. Po 48 godzinnym okresie inkubacji w 25°C hodowlę oceniano pod mikroskopem świetlnym (Eclipse E200, Nikon).

Analiza cech biochemicznych grzybów drożdżopodobnych

Do identyfikacji cech biochemicznych grzybów drożdżopodobnych wykorzystano test API 20 C AUX (bioMérieux SA), określający ich zdolność do enzymatycznego rozkładu poszczególnych związków organicznych. W badaniu uwzględniano też wynik testu na obecność strzępek lub pseudostrzępek na podłożu CMA. Testy API interpretowano w oparciu o komputerowy system analizy APIweb.

5.5. POMIAR WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ I TEMPERATURY POWIETRZA

W celu określenie wpływu parametrów mikroklimatycznych na poziom kontaminacji badanymi SCB, równoległe z pomiarami aerozoli biologicznych na każdym badanym stanowisku pracy oraz wokół badanych zakładów pracy (stanowiska tła zewnętrznego) rejestrowano wartości wilgotności względnej i temperatury przy użyciu termohigrometru (Conrad Electronic GmbH, Niemcy; numer świadectwa kalibracji: LM/L/19/06). Pomiary wykonywano w trzech powtórzeniach na każdym w/w stanowisku pomiarowym, a następnie poddawano analizie statystycznej (punkt 5.6).

5.6. METODYKA ANALIZY STATYSTYCZNEJ WYNIKÓW POMIARÓW

Współczesna wiedza i wymogi techniczne sprawiają, że mimo ograniczeń związanych ze sprawnością samego procesu wychwytu cząstek, do badań mikrobiologicznych czystości powietrza na stanowiskach pracy oraz w powietrzu zewnętrznym należy stosować metody wolumetryczne polegające na aktywnym pobieraniu próbki powietrza o określonej jej objętości [26, 27]. W Polsce warunki pobierania mikrobiologicznych próbek powietrza na stanowiskach pracy w odniesieniu do mikroorganizmów i endotoksyn bakteryjnych określa norma PN-EN 13098, która wymienia zalecane metody pomiarowe dla tej grupy czynników szkodliwych. Szeroki zakres dostępnych metod pomiarowych wynika z dużej zmienności genotypowej i fenotypowej SCB, a także jest wymuszony przez dużą zmienność środowiskowych stężeń bioaerozoli. W niniejszym projekcie stosowano zalecane normą metody wolumetryczne w celu pobrania próbek na obecność w nich żywych drobnoustrojów. Zastosowane podejście metodyczne charakteryzuje się tym, iż pobrany materiał odzwierciedla poziom zanieczyszczenia drobnoustrojowego w krótkim okresie czasu. Stąd też w celu

odzwierciedlenia rzeczywistego narażenia powodowanego obecnością SCB w określonych stężeniach, próbki powietrza pobierano w dwóch powtórzeniach w czasie zmiany roboczej.

Na podstawie doświadczenia Autorów oraz innych zespołów badaczy zajmujących się tą problematyką [5, 28-30] uzyskiwane w ten sposób dane pomiarowe stężeń bioaerozoli cechuje duża zmienność, co przejawia się wysokimi wartościami odchyień standardowych. W chwili obecnej nie ma jednej, wystandaryzowanej metodologii, która pozwalałaby analizować statystycznie wyniki pomiarów SCB oraz ich wpływu na zdrowie człowieka [31]. Biorąc ten fakt pod uwagę, Autorzy zastosowali najczęściej wykorzystywany algorytm postępowania w takich przypadkach. Polega on na sprawdzeniu normalności rozkładów uzyskanych danych pomiarowych, a następnie zastosowaniu odpowiednich testów statystycznych.



Rycina 1. Schemat doboru testów statystycznych i przykłady ich zastosowania w analizie danych.

Uzyskane w niniejszym badaniu dane pomiarowe zostały poddane analizie statystycznej z wykorzystaniem pakietu STATISTICA w wersji 10.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, 2011). W pierwszej fazie analizy, zebrane dane pomiarowe poddano ocenie normalności rozkładów za pomocą testu Shapiro-Wilka. Uzyskany wynik testów okazał się istotny statystycznie ($p < 0,05$) co oznaczało, iż wyniki pomiarów bakterii i grzybów w powietrzu nie posiadały cech rozkładu normalnego. Na tej podstawie uzyskane dane poddano dalszej analizie statystycznej z wykorzystaniem testów nieparametrycznych. Schemat doboru tych testów i przykłady ich zastosowania w analizie danych przedstawiono na rycinie 1. Jako miarę pozycyjną zastosowano średnią geometryczną (GM), a za miarę zmienności przyjęto geometryczne odchylenie standardowe (GSD). Do wszystkich wykonywanych analiz przyjęto za znamienne statystycznie wartości prawdopodobieństwa $p < 0,05$.

6.1. BIOAEROZOLE NA STANOWISKACH PRACY

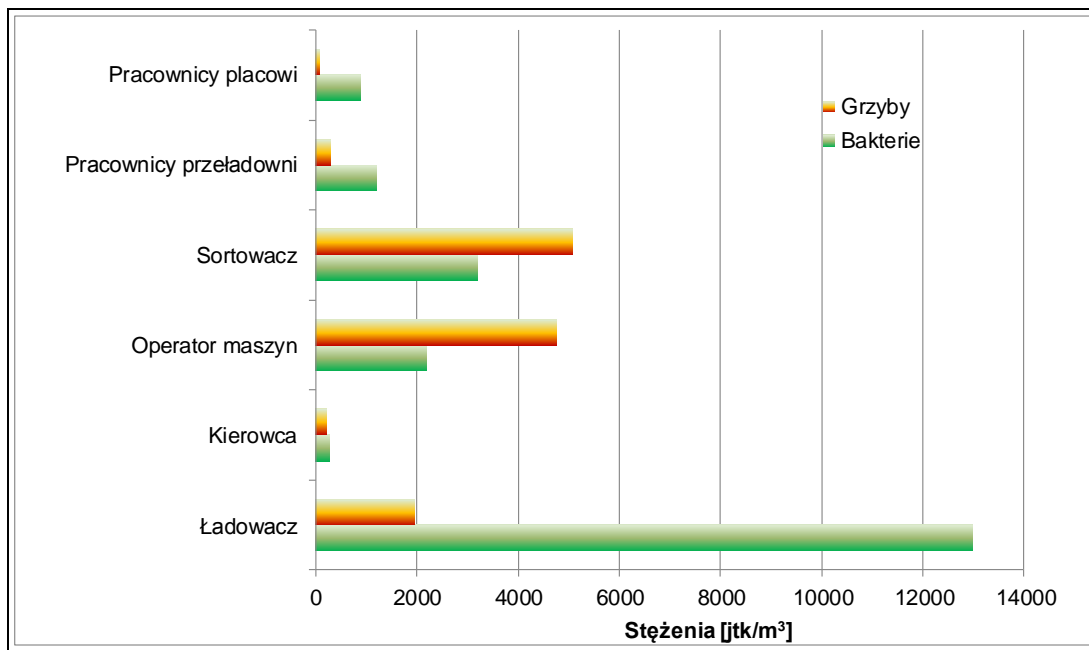
W tabeli 2 i na rycinie 2 przedstawiono średnie stężenia bakterii i grzybów w powietrzu na stanowiskach pracy w wytypowanych sortowniach, a także w próbkach tła. Wyniki pokazały duże zróżnicowanie stężeń mikroorganizmów. Najwyższymi średnimi stężeniami bakterii charakteryzowała się sortownia S2 (GM=3245 jtk/m³, GSD=2,68), zaś najniższymi sortownia S3 (GM=1013 jtk/m³, GSD=3,10). W przypadku aerozoli grzybowych najwyższe poziomy odnotowano w sortowni S3 (GM=4343 jtk/m³, GSD=12,94), a najniższe w sortowni S2 (GM=482 jtk/m³, GSD=2,53). Analiza porównawcza wykazała istotne różnice pomiędzy stężeniami bakterii na stanowiskach pracy w poszczególnych sortowniach (test Kruskala-Wallisa, $p < 0,05$). Wykazano, iż najwyższe stężenia towarzyszyły pracy ładowaczy (GM=12966 jtk/m³, GSD=1,84), a najniższe pracy kierowcy (GM=276 jtk/m³, GSD=1). Zakresy stężeń grzybów (rycina 2) przyczyniły się do tego, że pomimo różnic średnich wartości stężeń na badanych stanowiskach pracy, test Kruskala-Wallisa nie wykazał istotnej statystycznie różnicy pomiędzy tymi stanowiskami ($p > 0,05$). Najwyższe stężenia obserwowano u sortowaczy (GM=5071 jtk/m³, GSD=9,05), zaś najniższe u pracowników placowych (GM=92 jtk/m³, GSD=1,63). Jednakże dla obydwu typów drobnoustrojów stwierdzono istotne statystycznie różnice pomiędzy wynikami ze stanowisk pracy w sortowniach, a próbkami tła (test U Manna-Whitneya, $p < 0,05$).

Tabela 2. Stężenia bakterii i grzybów w powietrzu na stanowiskach pracy w badanych sortowniach oraz w próbkach tła.

Miejsce pomiaru	Bakterie [jtk/m ³]			Grzyby [jtk/m ³]		
	GM*	GSD**	Zakres	GM*	GSD**	Zakres
S1	3054	3,44	575-25720	3109	10,16	65-79880
S2	3245	2,68	965-10700	482	2,53	130-1285
S3	1013	3,10	276-2191	4343	12,94	226-19802
Tło	250	2,58	90-587	128	3,37	35-389

* GM - średnia geometryczna,

**GSD - geometryczne odchylenie standardowe



Rycina 2. Stężenia drobnoustrojów w zależności od typu badanego stanowiska pracy.

Szczegółowe wyniki analizy ilościowej i jakościowej bakterii dla wszystkich badanych stanowisk pracy zamieszczono w tabeli 3, zaś grzybów w tabeli 4.

Tabela 3. Stężenia aerozolu bakteryjnego (jtk/m³) na wyznaczonych stanowiskach pomiarowych w sortowniach odpadów oraz w próbkach tła.

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanej bakterii	Ogólna liczba bakterii mezofilnych	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku bakterii do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
Sortownia S1					
1	<i>Bacillus mycoides</i>			33,1	1
	<i>Staphylococcus cohnii</i>			20,1	1
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>			19,3	2
	<i>Pasturella multocida</i>			7,9	2
	<i>Proteus mirabilis</i>	25720	100000 ¹	3,3	2
	<i>Arthrobacter</i> spp.			2,8	1
	<i>Staphylococcus capitis</i>			1,3	1
	<i>Enterococcus faecalis</i>			1,6	2
	<i>Enterobacter sakazakii</i>			0,7	2
2	<i>Bacillus cereus</i>			37,2	1
	<i>Escherichia coli</i>			21,0	2
	<i>Staphylococcus capitis</i>			0,4	1
	<i>Enterobacter cloacae</i>	7920	100000 ¹	0,3	2
	<i>Staphylococcus cohnii</i>			0,2	1
	<i>Proteus mirabilis</i>			0,1	2
	<i>Bacillus mycoides</i>			0,1	1
3	<i>Staphylococcus cohnii</i>			20,6	1
	<i>Proteus mirabilis</i>			15,5	2
	<i>Bacillus mycoides</i>			10,3	1
	<i>Enterobacter cloacae</i>	5740	100000 ¹	9,0	2
	<i>Enterococcus faecalis</i>			4,8	2
	<i>Staphylococcus capitis</i>			3,4	1
	<i>Microbacterium</i> spp.			2,1	1
	<i>Arthrobacter</i> spp.			0,3	1

kontynuacja tabeli nr3

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanej bakterii	Ogólna liczba bakterii mezofilnych	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku bakterii do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
4	<i>Escherichia coli</i>	4200	100000 ¹	1,6	2
	<i>Staphylococcus cohnii</i>			1,6	1
	<i>Enterococcus faecalis</i>			0,8	2
	<i>Proteus mirabilis</i>			0,7	2
	<i>Bacillus cereus</i>			0,6	1
	<i>Microbacterium</i> spp.			0,6	1
	<i>Bacillus mycoides</i>			0,3	1
	<i>Arthrobacter</i> spp.			0,3	1
	<i>Bacillus subtilis</i>			0,1	2
5	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	575	100000 ¹	29,8	1
	<i>Brevibacterium</i> spp.			16,0	1
	<i>Microbacterium</i> spp.			10,0	1
	<i>Acinetobacter</i> spp.			5,0	1
	<i>Arthrobacter</i> spp.			4,0	1
	<i>Escherichia coli</i>			4,0	2
	<i>Proteus mirabilis</i>			4,0	2
	<i>Enterococcus faecalis</i>			3,0	2
	<i>Enterobacter sakazakii</i>			2,0	2
	<i>Pantoea</i> spp.			2,0	1
	<i>Bacillus subtilis</i>			2,0	2
6	<i>Arthrobacter</i> spp.	5080	100000 ¹	0,8	1
	<i>Brevibacterium</i> spp.			0,8	1
	<i>Enterococcus faecalis</i>			0,8	2
	<i>Proteus mirabilis</i>			0,8	2
	<i>Staphylococcus cohnii</i>			0,8	1
	<i>Rhodococcus</i> spp.			0,8	1
	<i>Bacillus subtilis</i>			0,7	2
	<i>Pantoea</i> spp.			0,5	1

kontynuacja tabeli nr3

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanej bakterii	Ogólna liczba bakterii mezofilnych	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku bakterii do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
7	<i>Staphylococcus lentus</i>	1035	100000 ¹	0,9	1
	<i>Bacillus mycoides</i>			0,8	1
	<i>Bacillus subtilis</i>			0,7	2
	<i>Staphylococcus xylosus</i>			0,7	1
	<i>Streptomyces</i> spp.			0,6	2
	<i>Escherichia coli</i>			0,5	2
	<i>Arthrobacter</i> spp.			0,4	1
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>			0,2	1
	<i>Enterobacter sakazakii</i>			0,1	2
	<i>Staphylococcus cohnii</i>			0,1	1
8	<i>Microbacterium</i> spp.	11325	100000 ¹	16,2	1
	<i>Streptomyces</i> spp.			10,4	2
	<i>Staphylococcus lentus</i>			12,9	1
	<i>Bacillus mycoides</i>			8,3	1
	<i>Pantoea</i> spp.			3,1	1
	<i>Rhodococcus</i> spp.			2,4	1
	<i>Bacillus subtilis</i>			2,1	2
	<i>Proteus mirabilis</i>			1,6	2
	<i>Bacillus cereus</i>			1,0	1
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0,5	1			
9	<i>Staphylococcus cohnii</i>	1060	5000 ²	10,0	1
	<i>Bacillus mycoides</i>			7,1	1
	<i>Bacillus</i> spp.			6,3	1
	<i>Micrococcus</i> spp.			5,6	1
	<i>Staphylococcus xylosus</i>			3,5	1
	<i>Proteus mirabilis</i>			2,1	2

kontynuacja tabeli nr3

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanej bakterii	Ogólna liczba bakterii mezofilnych	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku bakterii do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
10	<i>Micrococcus</i> spp.	1475	100000 ¹	19,8	1
	<i>Staphylococcus cohnii</i>			11,2	1
	<i>Staphylococcus xylosus</i>			11,1	1
	<i>Staphylococcus lentus</i>			9,9	1
	<i>Bacillus cereus</i>			7,4	1
	<i>Bacillus megaterium</i>			6,2	1
	<i>Bacillus mycoides</i>			6,2	1
	<i>Staphylococcus epidermidis</i>			4,9	1
	<i>Streptococcus salivarius</i>			1,2	2
	<i>Proteus mirabilis</i>			0,6	2
11	<i>Staphylococcus lentus</i>	820	100000 ¹	21,6	1
	<i>Bacillus megaterium</i>			14,0	1
	<i>Streptococcus salivarius</i>			13,3	2
	<i>Microbacterium</i> spp.			12,8	1
	<i>Bacillus cereus</i>			10,5	1
	<i>Staphylococcus capitis</i>			10,0	1
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>			5,7	1
	<i>Staphylococcus xylosus</i>			3,5	1
<i>Micrococcus</i> spp.	1,2	1			
12 (Próbka tła)	<i>Microbacterium</i> spp.	90	5000 ³ /1000 ⁴	28,0	1
	<i>Bacillus mycoides</i>			12,0	1
	<i>Staphylococcus xylosus</i>			12,0	1
	<i>Micrococcus</i> spp.			8,0	1
	<i>Bacillus subtilis</i>			4,0	2
	<i>Pseudomonas</i> spp.			4,0	1
	<i>Staphylococcus lentus</i>			4,0	1

kontynuacja tabeli nr3

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanej bakterii	Ogólna liczba bakterii mezofilnych	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku bakterii do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
SORTOWNIA S2					
1	<i>Brevibacterium</i> spp.	10700	100000 ¹	42,6	1
	<i>Bacillus cereus</i>			19,7	1
	<i>Serratia</i> spp.			12,2	1
	<i>Bacillus licheniformis</i>			7,4	1
	<i>Bacillus firmus</i>			7,1	1
	<i>Proteus mirabilis</i>			3,4	2
	<i>Bacillus</i> spp.			2,1	1
	<i>Microbacterium</i> spp.			1,2	1
2	<i>Microbacterium</i> spp.	4600	100000 ¹	18,0	1
	<i>Brevibacterium</i> spp.			14,6	1
	<i>Staphylococcus xylosum</i>			12,3	1
	<i>Streptomyces</i> spp.			9,9	2
	<i>Serratia</i> spp.			8,6	1
	<i>Bacillus licheniformis</i>			7,3	1
	<i>Proteus mirabilis</i>			7,1	2
	<i>Bacillus firmus</i>			2,4	1
<i>Bacillus</i> spp.	1,2	1			
3	<i>Brevibacterium</i> spp.	5895	100000 ¹	28,1	1
	<i>Staphylococcus xylosum</i>			22,7	1
	<i>Bacillus licheniformis</i>			10,5	1
	<i>Microbacterium</i> spp.			9,1	1
	<i>Proteus mirabilis</i>			6,4	2
	<i>Bacillus firmus</i>			4,1	1
	<i>Streptomyces</i> spp.			1,2	2
4	<i>Proteus mirabilis</i>	4210	100000 ¹	21,0	2
	<i>Serratia</i> spp.			16,8	1
	<i>Microbacterium</i> spp.			15,6	1
	<i>Brevibacterium</i> spp.			15,5	1
	<i>Bacillus licheniformis</i>			11,4	1
	<i>Bacillus firmus</i>			3,9	1
	<i>Bacillus</i> spp.			0,3	1

kontynuacja tabeli nr3

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanej bakterii	Ogólna liczba bakterii mezofilnych	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku bakterii do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
5	<i>Bacillus</i> spp.	990	100000 ¹	25,7	1
	<i>Bacillus licheniformis</i>			13,1	1
	<i>Ochrobactrum anthropi</i>			13,1	1
	<i>Bacillus circulans</i>			12,6	1
	<i>Bacillus megaterium</i>			10,7	1
	<i>Serratia</i> spp.			3,9	1
	<i>Bacillus subtilis</i>			2,9	2
	<i>Proteus mirabilis</i>			1,5	2
6	<i>Microbacterium</i> spp.	965	100000 ¹	25,3	1
	<i>Bacillus firmus</i>			18,8	1
	<i>Pseudomonas oryzae</i> habitans			11,0	1
	<i>Chryseobacterium</i> spp.			9,1	1
	<i>Bacillus</i> spp.			8,4	1
	<i>Micrococcus</i> spp.			8,4	1
	<i>Staphylococcus epidermidis</i>			7,1	1
7 (Próbka tła)	<i>Micrococcus</i> spp.	295	5000 ³ /1000 ⁴	26,5	1
	<i>Bacillus cereus</i>			14,9	1
	<i>Bacillus</i> spp.			12,7	1
	<i>Bacillus megaterium</i>			6,9	1
	<i>Corynebacterium striatum</i>			4,6	2
SORTOWNIA S3					
1	<i>Aerococcus</i> spp.	1336	100000 ¹	4,0	1
	<i>Micrococcus</i> spp.			3,3	1
	<i>Streptococcus</i> spp.			1,2	2
	<i>Brevibacterium</i> spp.			1,2	1
	<i>Microbacterium</i> spp.			2,4	1
	<i>Bacillus lentus</i>			0,4	1
	<i>Bacillus</i> spp.			1,2	1
	<i>Bacillus subtilis</i>			29,2	2
	<i>Proteus mirabilis</i>			0,8	2
	<i>Ralstonia pickettii</i>			1,6	1
	<i>Rhodococcus</i> spp.			2,4	1
	<i>Streptomyces</i> spp.			1,2	2

kontynuacja tabeli nr3

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanej bakterii	Ogólna liczba bakterii mezofilnych	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku bakterii do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
2	<i>Aerococcus</i> spp.	1717	100000 ¹	0,1	1
	<i>Aerococcus viridans</i>			0,1	1
	<i>Micrococcus</i> spp.			1,0	1
	<i>Staphylococcus cohnii</i>			0,2	1
	<i>Staphylococcus sciuri</i>			0,5	1
	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>			0,6	1
	<i>Staphylococcus xylosus</i>			<0,1	1
	<i>Streptococcus</i> spp.			1,4	2
	<i>Corynebacterium</i> spp.			0,2	2
	<i>Microbacterium</i> spp.			0,8	1
	<i>Bacillus cereus</i>			0,1	1
	<i>Bacillus</i> spp.			0,1	1
	<i>Bacillus subtilis</i>			1,0	2
	<i>Proteus mirabilis</i>			1,9	2
<i>Pseudomonas putida</i>	<0,1	1			
<i>Ralstonia pickettii</i>	0,1	1			
<i>Actinomyces</i> spp.	<0,1	2			
3	<i>Aerococcus</i> spp.	276	100000 ¹	3,5	1
	<i>Aerococcus viridans</i>			1,4	1
	<i>Micrococcus</i> spp.			13,9	1
	<i>Streptococcus</i> spp.			7,0	2
	<i>Corynebacterium</i> spp.			1,4	2
	<i>Bacillus cereus</i>			1,4	1
	<i>Bacillus lentus</i>			1,4	1
	<i>Bacillus</i> spp.			7,6	1
	<i>Bacillus subtilis</i>			2,8	2
	<i>Proteus mirabilis</i>			4,2	2
	<i>Pseudomonas putida</i>			0,7	1
<i>Actinomyces</i> spp.	2,8	2			
<i>Rhodococcus</i> spp.	5,6	1			
<i>Streptomyces</i> spp.	1,4	2			

kontynuacja tabeli nr3

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanej bakterii	Ogólna liczba bakterii mezofilnych	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku bakterii do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
	<i>Aerococcus</i> spp.			0,9	1
	<i>Aerococcus viridans</i>			1,7	1
	<i>Micrococcus</i> spp.			7,0	1
	<i>Staphylococcus cohnii</i>			4,4	1
	<i>Staphylococcus sciuri</i>			6,1	1
	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>			1,7	1
	<i>Staphylococcus xylosus</i>			0,9	1
	<i>Streptococcus</i> spp.			2,6	2
	<i>Brevibacterium</i> spp.			0,9	1
4 (Próbka tła)	<i>Cellulomonas</i> spp.	587	5000 ³ /1000 ⁴	1,7	1
	<i>Corynebacterium</i> spp.			2,6	2
	<i>Microbacterium</i> spp.			9,6	1
	<i>Bacillus cereus</i>			4,4	1
	<i>Bacillus lentus</i>			1,7	1
	<i>Bacillus</i> spp.			6,1	1
	<i>Proteus mirabilis</i>			1,7	2
	<i>Ralstonia pickettii</i>			4,4	1
	<i>Nocardia</i> spp.			0,9	1
	<i>Streptomyces</i> spp.			0,9	2

¹ zalecana wartość stężenia bakterii mezofilnych (jtk/m³) dla pomieszczeń roboczych zanieczyszczonych pyłem organicznym wg Zespołu Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy [32]

² zalecana wartość stężenia bakterii mezofilnych (jtk/m³) dla pomieszczeń mieszkalnych i użyteczności publicznej wg Zespołu Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy [32]

³ proponowana wartość (jtk/m³) akceptowalnego stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego dla bakterii wg Górnego (2010) [27]

⁴ wartość graniczna stężenia bakterii (jtk/m³) dla niezanieczyszczonego powietrza atmosferycznego wg normy PN-89/Z-04111/02 [33]

⁵ klasyfikacja wg rozporządzenia Ministra Zdrowia z dn. 22.04.2005r. (grupa 1. zagrożenia – czynniki, przez które wywoływanie chorób u ludzi jest mało prawdopodobne; grupa 2. zagrożenia - czynniki mogące wywoływać choroby wśród ludzi, ale ich rozprzestrzenianie się w populacji ludzkiej jest mało prawdopodobne; zazwyczaj istnieją w stosunku do nich skuteczne metody profilaktyki lub leczenia) [9].

Tabela 4. Stężenia aerozolu grzybowego (jtk/m³) na wyznaczonych stanowiskach pomiarowych w sortowniach odpadów oraz w próbkach tła.

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanego grzyba	Ogólna liczba grzybów	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku grzyba do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
SORTOWNIA S1					
1	<i>Aspergillus niger</i>	2880	50000 ¹	3,9	1
	<i>Aspergillus fumigatus</i>			2,6	2
	<i>Aspergillus flavus</i>			1,3	1
	<i>Rhizopus stolonifer</i>			1,3	1
	<i>Penicillium rugulosum</i>			0,8	1
2	<i>Aspergillus flavus</i>	5480	50000 ¹	10,1	1
	<i>Aspergillus niger</i>			7,4	1
	<i>Aspergillus fumigatus</i>			5,1	2
	<i>Penicillium crustosum</i>			5,0	1
	<i>Alternaria alternata</i>			4,0	1
	<i>Rhizopus stolonifer</i>			3,1	1
	<i>Trichoderma viride</i>			3,0	1
	<i>Mucor plumbeus</i>			2,0	1
3	<i>Candida famata</i>	3200	50000 ¹	0,5	1
	<i>Cryptococcus laurentii</i>			0,5	1
	<i>Aspergillus spp.</i>			13,6	1
	<i>Aspergillus niger</i>			6,8	1
	<i>Aspergillus flavus</i>			3,4	1
	<i>Cryptococcus laurentii</i>			3,4	1
	<i>Rhizopus stolonifer</i>			2,6	1
	<i>Mucor plumbeus</i>			1,7	1
4	<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	57820	50000 ¹	1,7	1
	<i>Trichoderma viride</i>			0,8	1
	<i>Aspergillus niger</i>			64,3	1
	<i>Aspergillus flavus</i>			12,8	1
	<i>Rhizopus stolonifer</i>			11,6	1
5	<i>Mucor plumbeus</i>	130	50000 ¹	3,9	1
	<i>Trichoderma koningii</i>			0,8	1
	<i>Penicillium variable</i>			11,1	1
	<i>Cryptococcus laurentii</i>			7,1	1

kontynuacja tabeli nr 4

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanego grzyba	Ogólna liczba grzybów	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku grzyba do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
6	<i>Aspergillus fumigatus</i>	79880	50000 ¹	31,6	2
	<i>Aspergillus flavus</i>			27,6	1
	<i>Aspergillus niger</i>			23,7	1
	<i>Penicillium rugulosum</i>			7,2	1
	<i>Penicillium</i> spp.			2,0	1
	<i>Mucor plumbeus</i>			1,9	1
7	<i>Aspergillus fumigatus</i>	20055	50000 ¹	40,0	2
	<i>Aspergillus clavatus</i>			35,4	1
	<i>Aspergillus niger</i>			8,9	1
	<i>Penicillium chrysogenum</i>			5,3	1
	<i>Penicillium</i> spp.			2,7	1
	<i>Mucor</i> spp.			1,8	1
	<i>Rhizopus stolonifer</i>			0,9	1
8	<i>Aspergillus flavus</i>	9710	50000 ¹	23,1	1
	<i>Aspergillus niger</i>			7,7	1
	<i>Penicillium rugulosum</i>			4,6	1
	<i>Penicillium</i> spp.			4,6	1
	<i>Candida famata</i>			1,5	1
9	<i>Aspergillus fumigatus</i>	1690	5000 ²	28,2	2
	<i>Aspergillus niger</i>			18,8	1
	<i>Scopulariopsis</i> spp.			5,1	1
	<i>Penicillium clavigenum</i>			3,8	1
	<i>Penicillium</i> spp.			3,8	1
	<i>Aspergillus ustus</i>			3,2	1
	<i>Aspergillus flavus</i>			2,5	1
10	<i>Aspergillus fumigatus</i>	405	50000 ¹	12,2	2
	<i>Aspergillus ustus</i>			4,0	1
	<i>Trichoderma viride</i>			2,6	1
	<i>Aspergillus flavus</i>			1,8	1
	<i>Geotrichum</i> spp.			0,9	1
11	<i>Penicillium</i> spp.	65	50000 ¹	4,0	1
	<i>Geotrichum</i> spp.			2,8	1
	<i>Aspergillus fumigatus</i>			0,6	2

kontynuacja tabeli nr 4

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanego grzyba	Ogólna liczba grzybów	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku grzyba do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
12 (Próbka tła)	<i>Fusarium</i> spp.			18,6	1
	<i>Alternaria alternata</i>	35	5000 ³ /3000 ⁴	4,7	1
	<i>Penicillium</i> spp.			4,7	1
SORTOWNIA S2					
1	<i>Penicillium citrinum</i>			2,8	1
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	475	50000 ¹	0,8	2
	<i>Mucor hiemalis</i>			0,5	1
	<i>Trichoderma viride</i>			0,2	1
2	<i>Aspergillus niger</i>			5,2	1
	<i>Penicillium crustosum</i>			4,2	1
	<i>Penicillium</i> spp.	1040	50000 ¹	4,2	1
	<i>Penicillium citrinum</i>			2,7	1
	<i>Aspergillus fumigatus</i>			2,0	2
	<i>Trichoderma viride</i>			0,1	1
3	<i>Aspergillus niger</i>			7,0	1
	<i>Penicillium</i> spp.			5,3	1
	<i>Trichoderma viride</i>	1285	50000 ¹	2,7	1
	<i>Aspergillus fumigatus</i>			1,9	2
	<i>Mucor hiemalis</i>			1,0	1
4	<i>Penicillium</i> spp.			5,1	1
	<i>Aspergillus ustus</i>			2,8	1
	<i>Fusarium</i> spp.			2,4	1
	<i>Aspergillus niger</i>	775	50000 ¹	2,3	1
	<i>Trichoderma</i> spp.			1,3	1
	<i>Penicillium crustosum</i>			1,0	1
	<i>Mucor hiemalis</i>			0,6	1
5	<i>Acremonium</i> spp.			4,5	1
	<i>Penicillium corylophilum</i>			3,7	1
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	195	50000 ¹	3,4	2
	<i>Penicillium funiculosum</i>			3,4	1
	<i>Alternaria alternata</i>			1,1	1
	<i>Mucor</i> spp.			0,4	1

kontynuacja tabeli nr 4

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanego grzyba	Ogólna liczba grzybów	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku grzyba do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
6	<i>Alternaria alternata</i>	130	50000 ¹	3,2	1
	<i>Penicillium funiculosum</i>			2,7	1
	<i>Aspergillus fumigatus</i>			2,3	2
	<i>Penicillium corylophilum</i>			2,3	1
	<i>Acremonium</i> spp.			1,4	1
7 (Próbka tła)	<i>Penicillium</i> spp.	155	5000 ³ /3000 ⁴	13,4	1
	<i>Penicillium crustosum</i>			7,6	1
	<i>Alternaria alternata</i>			4,2	1
	<i>Aspergillus niger</i>			3,4	1
	<i>Cladosporium</i> spp.			3,3	1
	<i>Aspergillus fumigatus</i>			2,5	2
SORTOWNIA S3					
1	<i>Aspergillus flavus</i>	19802	50000 ¹	2,0	1
	<i>Aspergillus niger</i>			5,4	1
	<i>Penicillium citrinum</i>			2,0	1
	<i>Penicillium rugulosum</i>			81,7	1
	<i>Stachybotrys</i> spp.			0,4	1
	Pleśń niezidentyfikowana			0,4	1
2	<i>Aspergillus flavus</i>	18304	50000 ¹	1,2	1
	<i>Aspergillus nidulans</i>			0,1	1
	<i>Aspergillus niger</i>			7,1	1
	<i>Aspergillus oryzae</i>			0,2	1
	<i>Aspergillus sydowii</i>			0,2	1
	<i>Aspergillus terreus</i>			0,7	1
	<i>Cladosporium</i> spp.			0,9	1
	<i>Mucor plumbeus</i>			0,1	1
	<i>Paecilomyces variotii</i>			0,1	1
	<i>Penicillium citrinum</i>			0,9	1
	<i>Penicillium brevicompactum</i>			0,2	1
	<i>Penicillium rugulosum</i>			76,5	1
	<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>			0,1	1
<i>Sporotrichum pruinatum</i>	0,2	1			
<i>Stachybotrys</i> spp.	0,4	1			
Pleśń niezidentyfikowana	0,4	1			

kontynuacja tabeli nr 4

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj/gatunek zidentyfikowanego grzyba	Ogólna liczba grzybów	Wartość dopuszczalna	% udział rodzaju/gatunku grzyba do całości mikrobioty na danym stanowisku	Grupa zagrożenia ⁵
3	<i>Aspergillus flavus</i>	226	50000 ¹	4,8	1
	<i>Aspergillus fumigatus</i>			8,6	2
	<i>Aspergillus nidulans</i>			1,9	1
	<i>Aspergillus oryzae</i>			1,0	1
	<i>Aspergillus sydowii</i>			6,7	1
	<i>Aspergillus terreus</i>			1,9	1
	<i>Paecilomyces variotii</i>			3,8	1
	<i>Penicillium</i> spp.			10,5	1
	<i>Scopulariopsis candida</i>			1,9	1
	<i>Stachybotrys</i> spp.			3,8	1
4 (Próbka tła)	<i>Aspergillus fumigatus</i>	389	5000 ³ /3000 ⁴	5,9	2
	<i>Aspergillus sydowii</i>			7,0	1
	<i>Aspergillus terreus</i>			2,3	1
	<i>Fusarium</i> spp.			9,4	1
	<i>Paecilomyces variotii</i>			1,2	1
	<i>Penicillium</i> spp.			7,0	1
	<i>Penicillium rugulosum</i>			2,3	1
	<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>			1,2	1
	<i>Scopulariopsis candida</i>			2,3	1
	Pleśń niezidentyfikowana			1,2	1

¹ zalecana wartość stężenia grzybów (jtk/m³) dla pomieszczeń roboczych zanieczyszczonych pyłem organicznym wg Zespołu Ekspertów ds. Czynniki Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynniki Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy [32]

² zalecana wartość stężenia grzybów (jtk/m³) dla pomieszczeń mieszkalnych i użyteczności publicznej wg Zespołu Ekspertów ds. Czynniki Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynniki Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy [32]

³ proponowana wartość (jtk/m³) akceptowalnego stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego dla grzybów wg Górnego (2010) [27]

⁴ wartość graniczna stężenia grzybów (jtk/m³) dla niezanieczyszczonego powietrza atmosferycznego wg normy PN-89/Z-04111/03 [34]

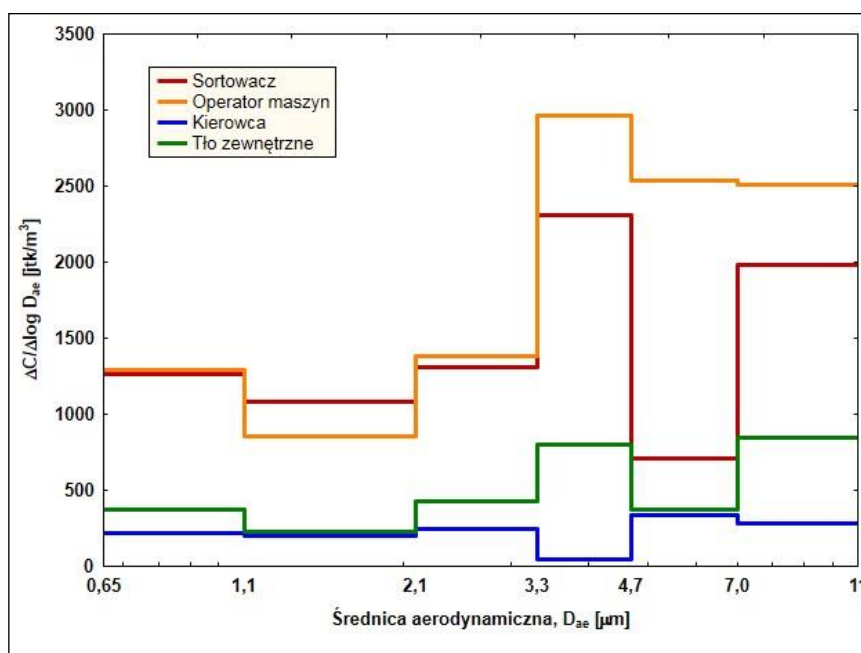
⁵ klasyfikacja wg rozporządzenia Ministra Zdrowia z dn. 22.04.2005r. (grupa 1. zagrożenia – czynniki, przez które wywoływanie chorób u ludzi jest mało prawdopodobne; grupa 2. zagrożenia - czynniki mogące wywoływać choroby wśród ludzi, ale ich rozprzestrzenianie się w populacji ludzkiej jest mało prawdopodobne; zazwyczaj istnieją w stosunku do nich skuteczne metody profilaktyki lub leczenia) [9].

Analiza jakościowa wykazała duże zróżnicowanie taksonomiczne występujących w powietrzu drobnoustrojów. W przypadku bakterii zidentyfikowano łącznie 48 gatunków bakterii należących do 26 rodzajów, z czego najliczniej reprezentowanych było przez laseczki Gram-dodatnie z rodzaju *Bacillus* (9 gatunków), ziarenkowce Gram-dodatnie z rodzaju *Staphylococcus* (7 gatunków) oraz pałeczki Gram-ujemne z rodzaju *Pseudomonas* (5 gatunków). Biorąc pod uwagę częstość występowania w pobranych próbkach powietrza należy stwierdzić, iż na wszystkich 20 stanowiskach pracy najczęściej izolowane były bakterie z rodzajów *Bacillus* i *Staphylococcus*, pałeczki Gram-

ujemne z gatunku *Proteus mirabilis* (17 stanowisk), Gram-dodatnie pałeczki niezarodnikujące z rodzaju *Microbacterium* (12 stanowisk) oraz Gram-dodatnie ziarenkowce z rodzaju *Micrococcus* (7 stanowisk). Analiza jakościowa grzybów wykazała obecność łącznie 41 gatunków należących do 18 rodzajów, z czego najliczniej reprezentowane były pleśnie z rodzajów *Penicillium* oraz *Aspergillus* (po 10 gatunków). Najczęściej identyfikowano gatunki *Aspergillus niger* i *A. fumigatus* (po 13 stanowisk), *A. flavus* (11 stanowisk) i *Trichoderma viridae* (6 stanowisk). Oprócz grzybów pleśniowych w próbkach powietrza stwierdzono także obecność grzybów drożdżoidalnych m.in. z rodzaju *Cryptococcus*, *Candida* oraz *Trichosporon*.

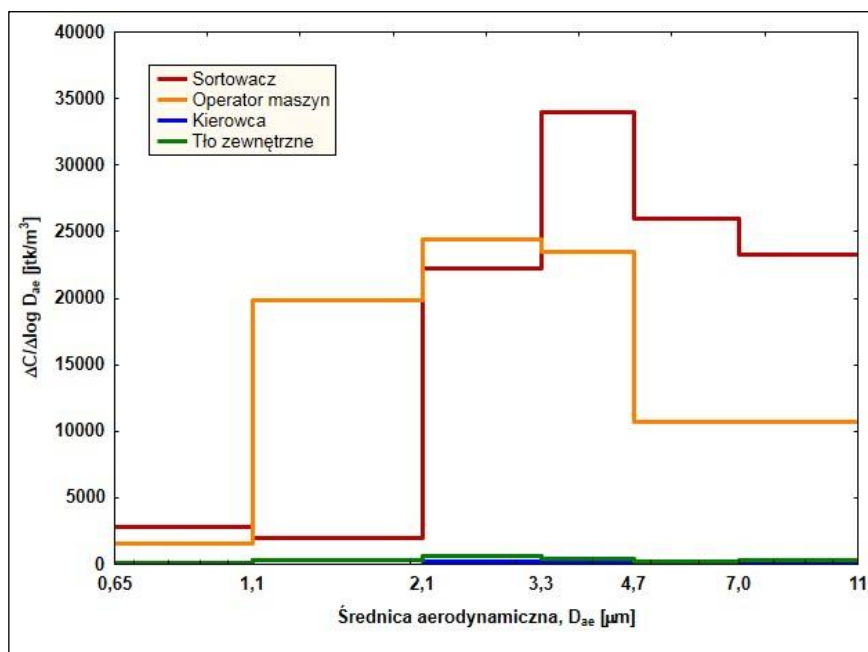
6.2. ROZKŁADY ZIARNOWE BIOAEROZOLI W SORTOWNIACH

Zastosowanie w części punktów pomiarowych 6-stopniowego impaktora Andersena pozwoliło uzyskać dane na temat rozkładów ziarnowych emitowanych bioaerozoli (ryciny 3 i 4).



Rycina 3. Analiza rozkładów ziarnowych bakterii na stanowiskach pracy w sortowniach odpadów komunalnych oraz próbkach tła.

Analiza rozkładów ziarnowych wykazała, iż dominujące w powietrzu sortowni bakterie (z rodzajów *Bacillus* i *Staphylococcus*) występowały głównie w postaci drobnych i dużych agregatów o średnicach aerodynamicznych od 3,3 μm do 4,7 μm i powyżej 7 μm , a w przypadku aerozolu grzybowego występowały one najczęściej w postaci pojedynczych spor lub niewielkich agregatów w zakresie średnic od 2,1 μm do 4,7 μm .



Rycina 4. Analiza rozkładów ziarnowych grzybów na stanowiskach pracy w sortowniach odpadów komunalnych oraz próbkach tła.

6.3. TEMPERATURA I WILGOTNOŚĆ WZGLĘDNA POWIETRZA NA BADANYCH STANOWISKACH

Równocześnie z badaniami bioaerozoli, na wyznaczonych stanowiskach pomiarowych mierzono temperaturę i wilgotność względną powietrza. Uśrednione wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza na badanych stanowiskach pracy przedstawiono w tabelach 5 i 6. Temperatura powietrza wahała się od 13,6°C do 26,4°C, zaś wilgotność od 30% do 68%. Najwyższe wartości temperatury powietrza obserwowano na stanowisku „pracownik przeładowni”, a najniższe na stanowisku „ładowacz”. W przypadku wilgotności względnej powietrza, jej najwyższe średnie stężenia odnotowano na stanowisku „kierowca”, zaś najniższe na stanowisku „pracownik przeładowni”. Należy jednak podkreślić, że obserwowane zależności nie były istotne statystycznie.

Posługując się współczynnikiem korelacji Spearmana dokonano oceny zależności pomiędzy parametrami fizycznymi powietrza, a stężeniami badanych aerozoli w poszczególnych stanowiskach pracy. Przeprowadzona analiza nie wykazała występowania istotnych statystycznie korelacji pomiędzy wartościami temperatury i wilgotności względnej powietrza a stężeniami aerozolu bakteryjnego i grzybowego.

Tabela 5. Wartości temperatury powietrza na badanych stanowiskach pracy.

Stanowisko pracy	GM*	GSD**	Wartość minimalna	Wartość maksymalna
Ładowacz	16,0	1.6	13,6	17,2
Kierowca	21,0	1.1	21,0	21,0
Operator maszyn	19,2	1.1	16,8	20,8
Sortowacz	17,1	1.4	14,3	20,1
Pracownik przeładowni	24,9	1.1	23,4	26,4
Pracownik placowy	21,6	1.1	20,9	22,3

* GM - średnia geometryczna,

**GSD - geometryczne odchylenie standardowe

Tabela 6. Wartości wilgotności względnej powietrza na badanych stanowiskach pracy.

Stanowisko pracy	GM*	GSD**	Wartość minimalna	Wartość maksymalna
Ładowacz	52,3	1.1	52,0	53,0
Kierowca	61,3	1.1	61,3	61,3
Operator maszyn	53,3	1.1	46,0	68,0
Sortowacz	52,2	1.2	42,0	66,5
Pracownik przeładowni	33,5	1	30,0	37,0
Pracownik placowy	35,5	1.1	34,0	37,0

* GM - średnia geometryczna,

**GSD - geometryczne odchylenie standardowe

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, iż wykazane stężenia bakterii nie przekroczyły zalecanej wartości referencyjnej dla bakterii mezofilnych, ustalonej na poziomie 100000 jtk/m³. Jednakże w przypadku aerozoli grzybowych w sortowni S1, na stanowiskach 4 i 6 (sortowacze) zaobserwowano przekroczenie od 15% do 60% zalecanej wartości dopuszczalnej dla grzybów, ustalonej na poziomie 50000 jtk/m³ [32].

Przeprowadzona analiza jakościowa wykazała obecność 14 gatunków/rodzajów bakterii i 1 grzyba pleśniowego sklasyfikowanych w grupie 2. zagrożenia według rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2005 r. [9] (tabela 7).

Tabela 7. Drobnoustroje wyizolowane z powietrza na stanowiskach pracy w sortowniach odpadów komunalnych, sklasyfikowane w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dn. 22 kwietnia 2005 r.

Grupa drobnoustrojów	Gatunek/rodzaj	Grupa zagrożenia
Bakterie	<i>Actinomyces</i> spp.	2
	<i>Bacillus subtilis</i>	2 (A)
	<i>Corynebacterium</i> spp.	2
	<i>Corynebacterium striatum</i>	2
	<i>Enterobacter cloacae</i>	2
	<i>Enterobacter sakazakii</i>	2
	<i>Enterococcus faecalis</i>	2
	<i>Escherichia coli</i>	2
	<i>Pasturella multocida</i>	2
	<i>Proteus mirabilis</i>	2
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2
	<i>Streptococcus salivarius</i>	2
	<i>Streptococcus</i> spp.	2
	<i>Streptomyces</i> spp.	2 (A)
Grzyby	<i>Aspergillus fumigatus</i>	2 (A)

2 – czynniki, które mogą wywoływać choroby u ludzi, mogą być niebezpieczne dla pracowników, ale rozprzestrzenianie ich w populacji jest mało prawdopodobne. Zazwyczaj istnieją w stosunku do nich skuteczne metody profilaktyki lub leczenia
A – możliwe efekty alergiczne

Analiza rozkładów ziarnowych wykazała, iż dominujące w powietrzu sortowni bakterie występowały głównie w postaci drobnych i dużych agregatów, co najprawdopodobniej związane jest z przyłączaniem się tych komórek bakteryjnych lub ich spor do cząstek pyłu pochodzącego z odpadów komunalnych. Może to skutkować deponowaniem się ich w górnych drogach oddechowych (jama nosowa i ustna) oraz w środkowej części układu oddechowego (rejon tchawicy i oskrzeli pierwszorzędowych). W przypadku aerozolu grzybowego emisja pyłu organicznego do powietrza badanych pomieszczeń w mniejszym stopniu niż u bakterii wpływała na zmianę aerodynamicznego

zachowania się tych cząstek biologicznych. Występowały one najczęściej w postaci pojedynczych spor lub niewielkich agregatów z możliwością depozycji w obszarze od tchawicy do oskrzeli drugorzędowych.

Przeprowadzona analiza wykazała, że podstawowe parametry mikroklimatu (temperatura i wilgotność względna powietrza) nie wpływały w sposób istotny statystycznie na wielkości stężeń aerozoli bakteryjnego i grzybowego, które były obserwowane na badanych stanowiskach pracy.

- Najwyższe stężenia bakterii i grzybów w powietrzu obserwowano podczas dostarczania odpadów do sortowni, a także podczas wstępnego ich sortowania.
- Zmierzone w powietrzu na stanowiskach pracy w sortowniach odpadów komunalnych stężenia bakterii nie przekraczały zalecanej wartości dopuszczalnej dla bakterii mezofilnych, ustalonej na poziomie 100000 jtk/m³. W przypadku aerozolu grzybowego, na dwóch stanowiskach pracy sortowaczy zaobserwowano przekroczenie od 15% do 60% zalecanej wartości dopuszczalnego stężenia dla grzybów, ustalonej na poziomie 50000 jtk/m³.
- W przypadku bakterii stwierdzono istotne zróżnicowanie ich stężeń na badanych stanowiskach pracy.
- Zarówno w przypadku bakterii, jak i grzybów stwierdzono, iż ich stężenia na stanowiskach pracy były istotnie wyższe od poziomu tła.
- W powietrzu na stanowiskach pracy stwierdzono duże zróżnicowanie taksonomiczne drobnoustrojów. Łącznie wyizolowano 48 gatunków bakterii oraz 41 gatunków grzybów, w tym 14 gatunków/rodzajów bakterii i 1 grzyba pleśniowego, które zostały sklasyfikowane w grupie 2. zagrożenia według rozporządzenia Ministra Zdrowia (Dz.U. nr 81, poz. 716), jako czynniki mogące wywoływać choroby wśród ludzi.
- Analiza rozkładów ziarnowych wykazała, iż większość cząstek bakteryjnych występowała w postaci drobnych i dużych agregatów, natomiast grzybowych w postaci pojedynczych spor i ich drobnych agregatów.
- Temperatura oraz wilgotność względna powietrza istotnie na wielkości stężeń aerozoli bakteryjnego i grzybowego obserwowane na badanych stanowiskach pracy.

1. Główny Urząd Statystyczny: Ochrona Środowiska 2013. Warszawa 2013.
2. Dyrektywa 2008/98/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy. Dz.U. L 312 z 22 listopada 2008 r.
3. Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach z dnia 13 września 1996 r. Dz.U. z 2013 r., poz. 1399.
4. Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2014 z dnia 24 grudnia 2010 r. M.P. z 2010 r. nr 101, poz. 1183.
5. Wouters I.M., Spaan A., Douwes J., Doekes G., Heederik D.: Overview of personal occupational exposure levels to inhalable dust, endotoxin, $\beta(1\rightarrow3)$ -glucan and fungal extracellular polysaccharides in the waste management chain. *Ann. Occup. Hyg.* 2006; 50:39-53.
6. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 22 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. z 2002 r. nr 217, poz. 1833 ze zm.
7. Kozajda A., Sowiak M., Piotrowska M., Szadkowska-Stańczyk I.: Sortownia odpadów komunalnych – rozpoznanie narażenia na czynniki biologiczne (grzyby strzępkowe). *Med. Pr.* 2009; 60:483-490.
8. Krajewski J.A., Tarkowski St., Cyprowski M., Szarapińska-Kwaszewska J., Dudkiewicz B.: Occupational exposure to organic dust associated with municipal waste collection and management. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2002; 15:289-301.
9. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki. Dz.U. z 2005 r. nr 81, poz. 716 ze zm.
10. Szadkowska-Stańczyk I. (red.): Zagrożenia i skutki zdrowotne narażenia na szkodliwe czynniki biologiczne pracowników zakładów gospodarki odpadami. IMP, Łódź 2007.
11. Dyrektywa 2000/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 września 2000 r. w sprawie ochrony pracowników przed ryzykiem związanym z narażeniem na działanie czynników biologicznych w miejscu pracy. *O. J. No. L.* 2000; 262:21–45.
12. Sprawozdanie z działalności Państwowej Inspekcji Pracy w 2012 r. (www.pip.gov.pl/html/pl/sprawozd/12/spraw_12.htm).
13. Krajewski J.A., Tarkowski St., Cyprowski M., Buczyńska A.: Charakterystyka stanowisk pracy oraz pracowników zatrudnionych przy zbieraniu i utylizacji odpadów komunalnych w Łodzi. *Med. Pr.* 2000; 51:615-624.
14. Cyprowski M.: Zagospodarowanie odpadów komunalnych. Narażenie na aerozol bakteryjny. *Prz. Kom.* 2011; 8:34-36.

15. Polska Norma PN-EN 13098. Powietrze na stanowiskach pracy - Wytyczne dotyczące pomiaru mikroorganizmów i endotoksyn zawieszonych w powietrzu. Warszawa, Polski Komitet Normalizacyjny 2007.
16. Polska Norma PN-EN 14042: Powietrze na stanowiskach pracy - Przewodnik wdrażania i stosowania procedur do oceny narażenia na czynniki chemiczne i biologiczne. Warszawa, Polski Komitet Normalizacyjny 2010.
17. Polska Norma PN-EN 14583: Powietrze na stanowiskach pracy - Wolumetryczne urządzenia do pobierania próbek bioaerozolu - Wymagania i metody badań. Warszawa, Polski Komitet Normalizacyjny 2008.
18. Garrity G.M.: Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Volume II: The Proteobacteria. Springer, USA, Nowy Jork 2005.
19. Goodfellow M., Mordarski M., Williams S. T.: The biology of the Actinomycetes. Academic Press, Londyn 1984.
20. Domsch K.H., Gams W., Anderson T-H.: Compendium of soil fungi. Academic Press, Londyn 1995.
21. Klich M.A.: Identification of common *Aspergillus* species. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht 2002.
22. Pitt J.I.: A laboratory guide to common *Penicillium* species. Food science Australia, North Ryde NSW, Australia 2000.
23. Samson R.A., Hoekstra E.S., Frisvad J.C., Filtenborg O.: Introduction to food- and airborne fungi. 6th edition. Centraalbureau vor Schimmelcultures, Utrecht 2000.
24. St-Germain G., Summerbell R.: Identifying filamentous fungi. Star, Belmont 2011.
25. Krzyściak P., Skóra M., Macura A.B. Atlas grzybów chorobotwórczych człowieka. MedPharm, Wrocław 2011.
26. Dutkiewicz J., Śpiewak R., Jabłoński L., Szymańska J.: Biologiczne czynniki zagrożenia zawodowego. Klasyfikacja, narażone grupy zawodowe, pomiary, profilaktyka. Ad punctum, Lublin 2007.
27. Górny R.L. Aerozole biologiczne – rola normatywów higienicznych w ochronie środowiska i zdrowia. Med. Środ. 2010; 13(1):41-51.
28. Douwes J., Thorne P., Pearce N. i wsp.: Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. Ann. Occup. Hyg. 2003;47:187–200.
29. Poulsen O.M., Breum N.O., Ebbehøj N., i wsp.: Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. Sci. Total Environ. 1995;168:33–56.
30. Perez H.R., Frank A.L., Zimmerman N.J.: Health effects associated with organic dust exposure during the handling of municipal solid waste. Indoor Build. Environ. 2006;15:207–212.
31. Tsai S. M.: Use of statistical tools for data presentation and analysis of indoor microorganisms. W: Yang C.S., Heinsohn P.A. Sampling and analysis of indoor microorganisms. John Wiley & Sons, Inc., USA, New Jersey, 2007.

32. Augustyńska D., Pośniak M.: Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne 2012. Wydawnictwo CIOP, Warszawa 2012.
33. Polska Norma PN-89/Z-04111/02: Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym (emisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną. Polski Komitet Normalizacyjny 1989.
34. Polska Norma PN-89/Z-04111/03: Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym (emisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną. Polski Komitet Normalizacyjny 1989.