



Marcin Cyprowski
Anna Ławniczek-Wałczyk
Małgorzata Gołofit-Szymczak
Agata Stobnicka-Kupiec
Rafał L. Górny

ZALECENIA DO OCENY I OGRANICZENIA
RYZYKA ZAWODOWEGO NARAŻENIA NA
PYŁY ORGANICZNE

Marcin Cyprowski
Anna Ławniczek-Wałczyk
Małgorzata Gołofit-Szymczak
Agata Stobnicka-Kupiec
Rafał L. Górny

ZALECENIA DO OCENY I OGRANICZENIA
RYZYKA ZAWODOWEGO NARAŻENIA NA
PYŁY ORGANICZNE

CIOP  **PIB**

Warszawa 2022

Opracowano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt nr II.PB.08, pt. „Ocena właściwości prozapalnych pyłów organicznych różnego pochodzenia na podstawie badania in vitro ludzkich komórek płuc”.

Koordinator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorzy: dr hab. n med. Marcin Cyprowski, dr Anna Ławniczek-Wałczyk,
dr Małgorzata Gołofit-Szymczak, dr inż. Agata Stobnicka-Kupiec,
prof. dr hab. n. med. Rafał L. Górny – Centralny Instytut Badawczy –
Państwowy Instytut Badawczy

Zdjęcia na okładce: Mirosław Kubicki, dr Paweł Kozikowski

Projekt okładki: Anna Antoniszewska

Opracowanie redakcyjne: Monika Piech-Rzymowska

Opracowanie graficzne: Dorota Marzec

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2022

ISBN 978-83-7373-390-9

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (22) 623 36 98, fax (22) 623 36 93, 623 36 95, www.ciop.pl

1. Wprowadzenie	5
2. Podstawowe informacje	6
3. Emisja pyłów organicznych na stanowiskach pracy.....	9
4. Niebiologiczne składowe pyłów organicznych.....	11
5. Mikrobiologiczne składowe pyłów organicznych.....	12
6. Skutki zdrowotne narażenia na pyły organiczne	22
7. Ocena ryzyka zawodowego narażenia na szkodliwe czynniki biologiczne.....	26
8. Ograniczanie ryzyka zawodowego narażenia na pyły organiczne.....	29
Piśmiennictwo	32

1. WPROWADZENIE

Pyły są jednym z głównych czynników szkodliwych występujących w środowisku pracy. Ich obecność została potwierdzona w wielu zakładach produkcyjnych i usługowych różnych branż gospodarki, a ich stężenia i skutki zdrowotne są ściśle związane z zastosowanymi procesami pracy. Jedną z grup pyłów, których charakterystyka i znaczenie dla zdrowia osób narażonych jest przedmiotem ciągłych badań, są pyły organiczne.

Pierwotnie obecność pyłów organicznych kojarzona była ze środowiskiem pracy rolników, jednak obecnie szacuje się, że kilkaset milionów ludzi na świecie jest narażonych na nie w czasie wykonywania obowiązków zawodowych. Do grupy narażonych zalicza się m.in. pracowników: zatrudnionych przy intensywnej produkcji roślinnej i zwierzęcej, zatrudnionych przy zagospodarowaniu odpadów komunalnych i oczyszczaniu ścieków, zatrudnionych w przemyśle przetwórczym oraz przy przetwarzaniu biomasy do celów energetycznych, a nawet pracowników biurowych.

Pyły organiczne mogą występować zarówno w pomieszczeniach zamkniętych, jak i na terenie otwartym, co wpływa na ich dużą niejednorodność oraz zmienność jakościową i ilościową w czasie i przestrzeni. Mnogość elementów składowych tworzących tę grupę pyłów sprawia, że trudno w sposób jednoznaczny ocenić skutki zdrowotne wywoływane przez nie. Wiedzę o skali narażenia i możliwościach oddziaływania cząstek pyłów organicznych na organizm człowieka należy ocenić jako niedostateczną, a możliwości ochrony osób narażonych uznać za niewystarczające.

Zarówno w Polsce, jak i na świecie ocena zawodowego narażenia na pyły organiczne wiąże się z licznymi problemami, głównie z powodu braku ogólnie akceptowanych kryteriów takiej oceny. Opracowanie dla każdej konkretnej sytuacji środków zmniejszających skutki narażenia jest zwykle procesem złożonym i musi obejmować wszechstronną analizę różnego typu zagrożeń, a przedstawiciele służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo i higienę pracy (BHP) w zakładach powinni mieć odpowiednią wiedzę, by w sposób całkowicie świadomy kształtować bezpieczne warunki pracy [1].

Niniejsza publikacja jest przeznaczona przede wszystkim dla służb BHP sprawujących opiekę nad pracownikami w środowiskach pracy, gdzie potwierdzono obecność pyłów organicznych. W poszczególnych rozdziałach scharakteryzowano biologiczne i niebiologiczne składniki pyłów organicz-

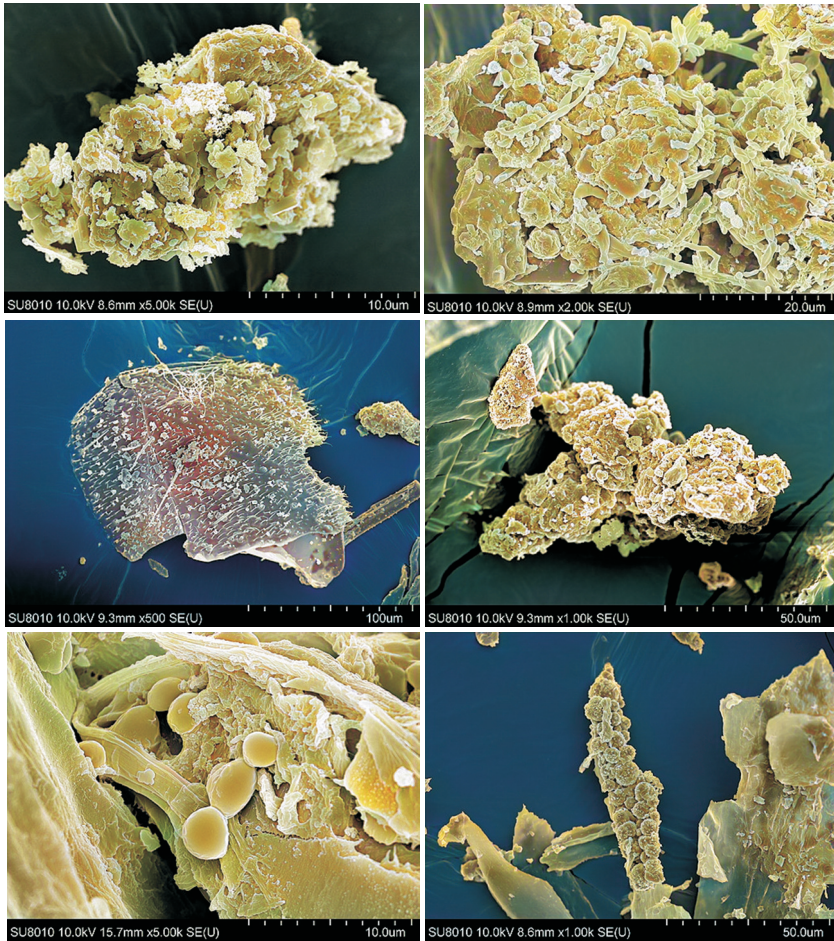
nych w oparciu o dane pochodzące z 6 różnych branż gospodarki oraz ich zmienność w zależności od miejsca pochodzenia. Omówiono główne jednostki chorobowe, które mogą być wynikiem przebytego narażenia, jak również podano wskazówki dotyczące możliwości jego ograniczania i zabezpieczenia przed nim pracowników.

2. PODSTAWOWE INFORMACJE

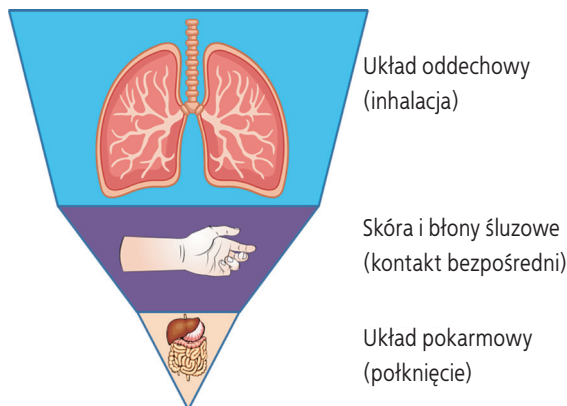
Pyły organiczne (ryc. 1) można zdefiniować jako niejednorodne mieszaniny cząstek niebiologicznych (ocenianych przez zawartość frakcji respirabilnej krzemionki krystalicznej – FRKK) oraz organicznych pochodzenia roślinnego, zwierzęcego i mikrobiologicznego. Precyzyjne określenie składu jest niezwykle trudne i zależy od miejsca powstania pyłu.

Wśród pyłów pochodzenia roślinnego wymienia się m.in.: pył zbożowy, pył mączny, pył drzewny oraz pyłki kwiatów. Z kolei pyły pochodzenia zwierzęcego mogą zawierać: fragmenty sierści, wydaliny, pióra, naskórki i różne substancje białkowe. Ponadto, w skład pyłów mogą wchodzić także cząstki pochodzące z odpadów komunalnych oraz osadów ściekowych. Dużą zmiennością charakteryzuje się również część mikrobiologiczna pyłów, w skład której mogą wchodzić: komórki bakteryjne (żywe i martwe), konidia grzybowe, cząstki wirusów, submikronowe fragmenty drobnoustrojów, elementy ścian komórkowych bakterii (endotoksyny, peptydoglikany) i grzybów (β -glukany), a także niskocząsteczkowe substancje uwalniane przez grzyby (mykotoksyny) oraz alergeny (głównie grzybowe). Wymienione składowe pochodzenia mikrobiologicznego, określane często jako **szkodliwe czynniki biologiczne (SCB)**, mogą być zarówno transportowane na powierzchniach frakcji organicznej i nieorganicznej, jak i funkcjonować jako niezależne cząstki unoszone w powietrzu, tworząc w ten sposób bioaerozol.

Problem zawodowego narażenia na pyły organiczne dotyczy przede wszystkim cząstek zawieszonych w powietrzu, gdyż po ich przeniknięciu do układu oddechowego człowieka mogą inicjować rozwój różnych jednostek chorobowych. Mnogość czynników wchodzących w skład pyłów organicznych może skutkować także oddziaływaniem na zdrowie pracowników na drodze bezpośredniego kontaktu ze skórą lub błonami śluzowymi. Z kolei wydaje się, że najmniejsze ryzyko zdrowotne dla osób narażonych jest związane z przenikaniem cząstek pyłów przez układ pokarmowy (ryc. 2).



Ryc. 1. Zdjęcia powierzchni pyłów organicznych wykonane mikroskopem SEM (A – sortownia odpadów, B – kompostownia, C – oczyszczalnia ścieków, D – cementownia, E – elektrownia, F – ferma drobiu), (fot. Paweł Kozikowski)



Ryc. 2. Główne drogi narażenia na pyły organiczne (źródło własne)

Szkodliwymi czynnikami biologicznymi (SCB) mogąymi wywoływać zakażenia, alergię lub zatrucia, wg definicji zamieszczonej w dyrektywie Komisji Europejskiej (KE) [2] rozporządzeniu Ministra Zdrowia (MZ) [3] w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki, są:

- drobnoustroje komórkowe, w tym zmodyfikowane genetycznie
- jednostki bezkomórkowe zdolne do replikacji lub przenoszenia materiału genetycznego, w tym zmodyfikowane genetycznie
- hodowle komórkowe
- pasożyty wewnętrzne człowieka.

Ze względu na rodzaj działania chorobotwórczego na organizm człowieka, szkodliwe czynniki biologiczne można podzielić na:

- czynniki wywołujące choroby zakaźne i inwazyjne (np.: wirusy, bakterie, grzyby)
- alergeny biologiczne (np.: pochodzenia grzybowego)
- toksyny biologiczne (np.: endotoksyny bakteryjne, β -glukany, mykotoksyny)
- czynniki rakotwórcze (aflatoksyny – toksyny o właściwościach rakotwórczych, wytwarzane głównie przez grzyby *Aspergillus flavus* i *Aspergillus parasiticus*).

W zależności od zdolności wywoływania zakażenia, szkodliwe czynniki biologiczne podzielono na cztery grupy ryzyka zawodowego:

- grupa 1 – czynniki, które prawdopodobnie mogą być przyczyną chorób u ludzi;
- grupa 2 – czynniki, które mogą wywoływać chorobę u ludzi i mogą być szkodliwe dla pracowników; ich rozprzestrzenianie w populacji ludzkiej jest mało prawdopodobne; istnieją skuteczne metody profilaktyki i leczenia;

- ▶ grupa 3 – czynniki mogące wywołać ciężki przebieg choroby u ludzi i ich obecność jest poważnym zagrożeniem dla zdrowia pracowników; ich rozprzestrzenianie w populacji ludzkiej jest bardzo prawdopodobne; istnieją skuteczne metody profilaktyki i leczenia;
- ▶ grupa 4 – czynniki, które wywołują ciężki przebieg choroby u ludzi i są poważnym zagrożeniem dla zdrowia pracowników; ich rozprzestrzenianie w populacji ludzkiej jest bardzo prawdopodobne; brakuje skutecznych metod profilaktyki i leczenia.

3. EMISJA PYŁÓW ORGANICZNYCH NA STANOWISKACH PRACY

Dane o emisji pyłów organicznych na stanowiskach pracy wskazują na duże zróżnicowanie rejestrowanych poziomów zanieczyszczeń między zakładami z różnych branż (tab. 1). Na przykładzie 6 badanych zakładów widać, że niskie stężenia pyłów nieprzekraczające $0,1 \text{ mg/m}^3$ mogą występować w oczyszczalniach ścieków, w których zjawisko zapylenia ograniczone jest głównie do procesów zagospodarowania osadów ściekowych. Nie oznacza to jednak, że zakłady z tej branży są wolne od zanieczyszczeń mikrobiologicznych, gdyż dominuje w nich aerozol, którego główną składową są krople wody i ścieków, sprzyjające rozwojowi różnych grup bakterii. Na tym tle znacznie wyższymi stężeniami charakteryzują się zakłady, w których źródłem pyłów są różnego rodzaju odpady oraz biomasa.

Tabela 1. Stężenia pyłów organicznych w zależności od badanego zakładu pracy

Rodzaj zakładu	AM	SD	Min. – Maks.
	[mg/m ³]		
Sortownia odpadów	4,41	4,96	0,41 – 14,52
Kompostownia odpadów	0,90	0,34	0,28 – 1,49
Oczyszczalnia ścieków	0,09	0,02	0,04 – 0,11
Cementownia (spalanie paliwa RDF)	0,64	0,78	0,03 – 2,67
Elektrownia (spalanie biomasy)	6,17	8,74	0,14 – 22,20
Ferma drobiu	2,90	0,66	1,77 – 3,86

AM – średnia arytmetyczna; SD – odchylenie standardowe; Min. – Maks. – zakres stężeń

W cementowni i kompostowni średnie zapylenie może występować na poziomie ok. 1 mg/m^3 , w sortowni może przekraczać 4 mg/m^3 , a w elektrowni być powyżej 6 mg/m^3 , czyli może przekraczać wartość NDS (NDS – najwyższe dopuszczalne stężenie) wyznaczoną na poziomie 4 mg/m^3 [4]. Jednakże przedstawione wartości średnie są mocno determinowane przez wyniki pomiarów ze stanowisk pracy, na których wykonywane są specyficzne czynności, takie jak: dowóz nowych odpadów, przerzucanie pryzm kompostu (ryc. 3) czy dodawanie biomasy do węgla. To podczas tych prac emisja pyłów organicznych może być wielokrotnie wyższa niż na pozostałych stanowiskach pracy w danym zakładzie, co zwykle skutkuje zwiększeniem „ładunku” składników mikrobiologicznych.



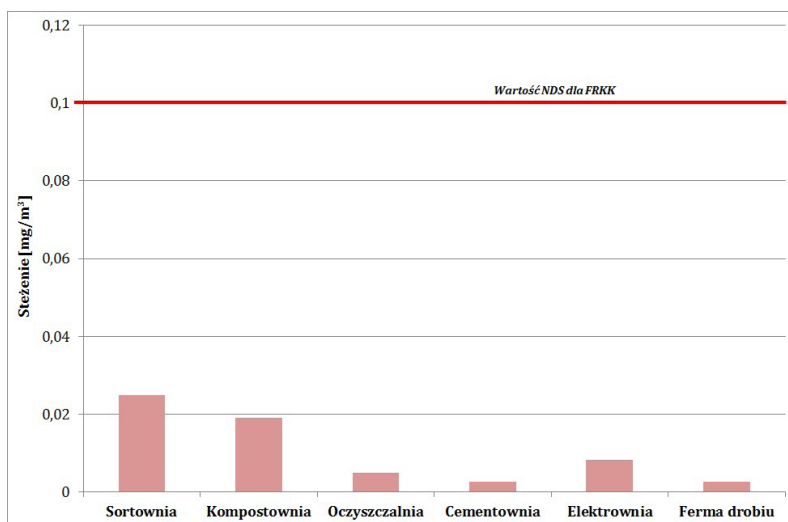
Ryc. 3. Zwiększona emisja pyłów organicznych podczas przerzucania pryzm kompostu (A) i dostarczania odpadów do sortowni (B), (fot. Katarzyna Konopczyńska)

Z kolei, podczas intensywnej hodowli zwierząt (m.in. drobiu) emisja pyłów organicznych może osiągać poziom blisko 3 mg/m^3 , jednak w odróżnieniu od wcześniej wymienionych branż wykazywane stężenia wydają się tu być bardziej jednorodne w obrębie zakładu. Niemniej zróżnicowanie stężeń też może mieć tu miejsce, a wśród czynników determinujących wymienia się np. wiek stada lub zastosowanie w procesie hodowli ściółki ze słomy.

Badając poziomy stężenie pyłów organicznych w zakładzie, należy zidentyfikować te miejsca pracy, w których wykonywane są specyficzne czynności charakteryzujące się wysoką emisją pyłów.

4. NIEBIOLOGICZNE SKŁADOWE PYŁÓW ORGANICZNYCH

Jak podano w definicji pyłów organicznych, jednym z elementów je tworzących jest frakcja niebiologiczna. W jej skład mogą wchodzić m.in.: piasek, gruz budowlany, a także drobne fragmenty szkła lub metali. Ilościowa ocena takich cząstek w pyłach zwykle zawęża się do zbadania zawartości frakcji respirabilnej krzemionki krystalicznej (FRKK), co do której istnieją wystandardyzowane metody analizy [5]. Jej stężenia mogą wykazywać dużą zmienność między zakładami z różnych branż (ryc. 4), jednak zwykle są one kilkukrotnie niższe od wartości NDS wyznaczonej na poziomie $0,1 \text{ mg/m}^3$ [4].



Ryc. 4. Zawartość frakcji respirabilnej krzemionki krystalicznej (FRKK) w próbkach pyłów organicznych różnego pochodzenia (źródło własne)

Zastosowanie nowoczesnych technik do wizualizacji i pomiaru mikrostruktur, jak na przykład elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM) połączonego z detektorem EDS, może umożliwić poznanie składu chemicznego cząstek pyłów, uwzględniającego zawartość poszczególnych pierwiastków (tabela 2).

Tabela 2. Analiza składu chemicznego powierzchni pyłów organicznych z wykorzystaniem detektora EDS

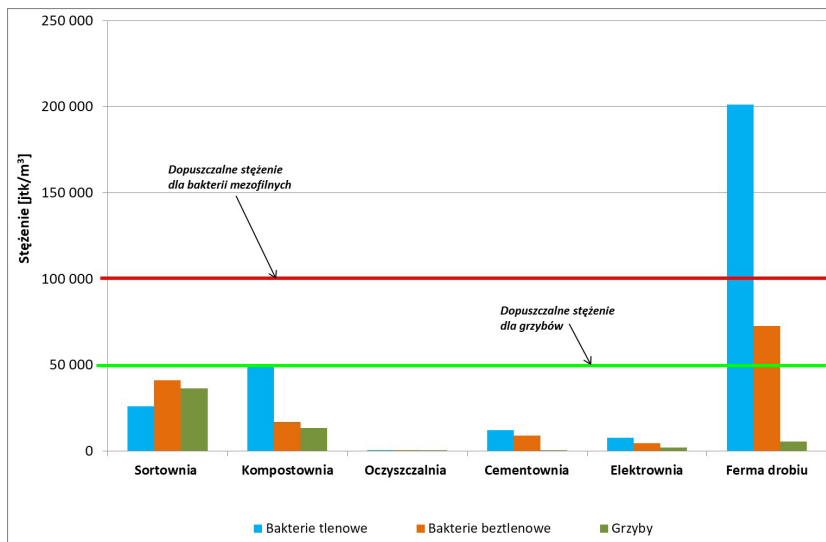
Rodzaj zakładu	Skład chemiczny powierzchni pyłów
Sortownia odpadów	C, N, O, F, Mg, Na, Al, Si, S, Ca
Kompostownia	C, N, O, F, Mg, Al, Si, K
Oczyszczalnia ścieków	C, N, O, Mg, Na, Si, S, K, Ca
Cementownia	C, N, O, Al, Si, S, Ca
Elektrownia	C, N, O, Al, Si, K
Ferma drobiu	C, N, O, Mg, S, K, Ca, Zr

5. MIKROBIOLOGICZNE SKŁADOWE PYŁÓW ORGANICZNYCH

Kluczowym składnikiem pyłów organicznych, który decyduje o stopniu ich oddziaływania na zdrowie narażonych pracowników, jest zawartość szkodliwych czynników biologicznych. Prowadzone dotychczas badania tego zagadnienia wskazują na dużą różnorodność identyfikowanych drobnoustrojów oraz substancji pochodzenia mikrobiologicznego. Na stanowiskach pracy podczas wykonywania obowiązków zawodowych udowodniono występowanie licznych gatunków bakterii, grzybów, a w niektórych środowiskach także wirusów. Ich skład jakościowy jest często powiązany z pochodzeniem pyłów, przez co izolowane grupy drobnoustrojów mogą pełnić rolę mikroorganizmów wskaźnikowych, określanych także jako wiodących, czyli charakterystycznych dla danego środowiska pracy. Ich wyznaczenie może ułatwić przeprowadzenie oceny ryzyka zawodowego i jest istotne przy diagnozie skutków zdrowotnych narażenia.

Mikrobiologiczne składniki pyłów organicznych są jednak bardzo wrażliwe na zmianę warunków panujących na stanowiskach pracy, w tym parametrów mikroklimatu, dostępu tlenu czy ilości frakcji organicznej będącej często pożywką dla różnych grup drobnoustrojów. Obserwowana zmienność przejawia się zarówno w analizowanym składzie jakościowym, jak i w mierzonych poziomach stężeń, które różnicują zakłady odmiennych branż (ryc. 5) oraz stanowiska pracy w obrębie pojedynczego zakładu.

Wiodące SCB to grupa czynników typowych dla określonych procesów produkcyjnych, technologicznych i rozwiązań w określonym środowisku pracy.



Ryc. 5. Stężenia głównych grup drobnoustrojów w próbkach pyłów organicznych różnego pochodzenia; jtk – jednostki tworzące kolonie; wartości dopuszczalnych stężeń wg [6]

Poniżej przedstawiono charakterystykę najważniejszych grup drobnoustrojów i substancji pochodzenia mikrobiologicznego wchodzących w skład pyłów organicznych.

Drobnoustroje bakteryjne

Bakterie są wszechobecnymi w środowisku organizmami jednokomórkowymi, których wielkość może wahać się od 0,1 do 15 μm. Ich występowanie jest w dużym stopniu uzależnione od dostępności wody i substancji organicznych, a w związku z różnym zapotrzebowaniem na tlen możemy wyróżnić bakterie tlenowe i beztlenowe. Pyły organiczne zapewniają dobre warunki dla rozwoju bakterii. W sposób całkowicie naturalny bytują one

w nich na rozkładających się szczątkach organicznych pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego. Wśród dużej liczby gatunków bakterii istnieją takie, które z powodu swoich właściwości mogą stwarzać zagrożenie dla zdrowia człowieka. Określa się je jako organizmy patogenne.

Szkodliwe oddziaływanie bakterii na narażonych pracowników może być rozpatrywane nie tylko przez pryzmat ich właściwości infekcyjnych, ale także alergizujących oraz immunotoksycznych. Ocena właściwości infekcyjnych i alergizujących wiąże się najczęściej z przeprowadzeniem szczegółowej analizy jakościowej drobnoustrojów, która pozwala na zidentyfikowanie określonego rodzaju/gatunku, co jest bardzo ważnym elementem szacowania narażenia i wynikającego z niego ryzyka zdrowotnego pracowników różnych grup zawodowych. Poniżej zastawiono wiodące drobnoustroje bakteryjne izolowane z 6 różnych środowisk pracy, w których występują pyły organiczne.

Tabela 3. Wiodące drobnoustroje bakteryjne w próbkach pyłów organicznych różnego pochodzenia

Czynnik biologiczny	Grupa zagrożenia*	Działanie na człowieka
Sortownia odpadów		
<i>Clostridium perfringens</i>	2	Zakażenia ran, zgorzel gazowa
<i>Corynebacterium</i> spp.	2	Infekcje dróg oddechowych, zakażenia ran
<i>Enterococcus faecalis</i>	2	Zakażenia wsierdza i dróg moczowych, silna oporność na antybiotyki
<i>Escherichia coli</i>	2	Zapalenie okrężnicy, zatrucia, infekcje dróg moczowych, źródło endotoksyn
<i>Peptostreptococcus anaerobius</i>	2	Zakażenia tkanek miękkich jamy ustnej, infekcje dróg oddechowych
<i>Proteus mirabilis</i>	2	Zakażenia dróg moczowych, zakażenia ran, źródło endotoksyn
Kompostownia odpadów		
<i>Actinomyces</i> spp.	2	Zakażenia tkanek miękkich, silne reakcje alergiczne
<i>Bacillus subtilis</i>	1	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne
<i>Clostridium</i> spp.	2	Zakażenia ran
<i>Pantoea agglomerans</i>	2	Sporadyczne zakażenia ran i dróg moczowych, źródło endotoksyn

cd. Tab. 3.

Czynnik biologiczny	Grupa zagrożenia*	Działanie na człowieka
<i>Proteus mirabilis</i>	2	Zakażenia dróg moczowych, zakażenia ran, źródło endotoksyn
<i>Thermoactinomyces vulgaris</i>	2	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne
Oczyszczalnia ścieków		
<i>Aeromonas hydrophila</i>	2	Zakażenia ran, zatrucia pokarmowe, źródło endotoksyn
<i>Clostridium</i> spp.	2	Zakażenia ran
<i>Escherichia coli</i> (szczep 0157:H7)	3**	Biegunka krwotoczna, niewydolność nerek, źródło endotoksyn
<i>Klebsiella oxytoca</i>	2	Infekcje układu pokarmowego, źródło endotoksyn
<i>Enterobacter</i> spp.	2	Zakażenia dróg moczowych, źródło endotoksyn
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1	Sporadyczne infekcje narządowe, źródło endotoksyn
Cementownia		
<i>Bacillus</i> spp.	1	Sporadyczne infekcje narządowe, reakcje alergiczne
<i>Corynebacterium</i> spp.	2	Infekcje dróg oddechowych, zakażenia ran
<i>Nocardia</i> spp.	1	Reakcje alergiczne
<i>Proteus mirabilis</i>	2	Zakażenia dróg moczowych, zakażenia ran, źródło endotoksyn
<i>Staphylococcus aureus</i>	2	Zakażenia ran, stany zapalne dróg oddechowych, zatrucia pokarmowe, alergie skórne, silna oporność na antybiotyki
<i>Streptomyces</i> spp.	2	Silne reakcje alergiczne
Elektrownia		
<i>Actinomyces</i> spp.	2	Zakażenia tkanek miękkich, silne reakcje alergiczne
<i>Burkholderia cepacia</i>	1	Sporadyczne infekcje dróg oddechowych, źródło endotoksyn
<i>Pantoea agglomerans</i>	2	Sporadyczne zakażenia ran i dróg moczowych, źródło endotoksyn
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2	Zakażenia ran, stany zapalne dróg oddechowych, zakażenia dróg moczowych, źródło endotoksyn

cd. Tab. 3.

Czynnik biologiczny	Grupa zagrożenia*	Działanie na człowieka
<i>Streptomyces albus</i>	2	Silne reakcje alergiczne
<i>Rhodococcus</i> spp.	1	Reakcje alergiczne
Ferma drobiu		
<i>Corynebacterium</i> spp.	2	Infekcje dróg oddechowych, zakażenia ran
<i>Enterococcus faecalis</i>	2	Zakażenia wsierdza i dróg moczowych, silna oporność na antybiotyki
<i>Escherichia coli</i>	2	Zapalenie okrężnicy, zatrucia, infekcje dróg moczowych, źródło endotoksyn
<i>Klebsiella oxytoca</i>	2	Infekcje układu pokarmowego, źródło endotoksyn
<i>Listeria monocytogenes</i>	2	Listerioza, zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych, zapalenie płuc
<i>Pasteurella</i> spp.	2	Stany zapalne dróg oddechowych, zakażenia ran, źródło endotoksyn

* Klasyfikacja wg [3]

♦ **Patogeny bezwzględne** po dostaniu się do organizmu człowieka wywołują zawsze chorobę, np. pałeczki z rodzajów *Shigella* i *Salmonella*.

Patogeny oportunistyczne mogą wywołać chorobę, ale najczęściej w sytuacji osłabionego układu odpornościowego człowieka, np. *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis*.

Drobnoustroje grzybowe

Grzyby są bardzo zróżnicowaną grupą organizmów. Charakteryzują się nitkowatą i rurkowatą strukturą. Można wśród nich wyróżnić zarówno organizmy wielokomórkowe, jak i jednokomórkowe, czyli drożdżaki. Ich rozwój jest uzależniony od warunków środowiskowych, takich jak wilgotność i temperatura. Wśród grzybów dominują głównie organizmy saprofityczne, żywiące się resztkami roślin i zwierząt, jednak obecne są również gatunki pasożytnicze, a także organizmy funkcjonujące na zasadzie symbiozy.

Tabela 4. Wiodące drobnoustroje grzybowe w próbkach pyłów organicznych różnego pochodzenia

Czynnik biologiczny	Grupa zagrożenia*	Działanie na człowieka
Sortownia odpadów		
<i>Aspergillus flavus</i>	2	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn (aflatoksyny)
<i>Aspergillus fumigatus</i>	2	Infekcje dróg oddechowych, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Aspergillus niger</i>	2	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn (ochratoksyny)
<i>Penicillium rugulosum</i>	1	Reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Candida</i> spp.	1	Grzybice skóry, paznokci, jamy ustnej
<i>Stachybotrys</i> spp.	1	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
Kompostownia odpadów		
<i>Absidia</i> spp.	1	Reakcje alergiczne
<i>Aspergillus fumigatus</i>	2	Infekcje dróg oddechowych, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Aspergillus niger</i>	2	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn (ochratoksyny)
<i>Mucor</i> spp.	1	Reakcje alergiczne
<i>Penicillium</i> spp.	1	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Phialophora</i> spp.	1	Reakcje alergiczne
Oczyszczalnia ścieków		
<i>Aspergillus fumigatus</i>	2	Infekcje dróg oddechowych, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Aspergillus versicolor</i>	1	Silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Cryptococcus laurentii</i>	1	Sporadyczne grzybice skóry

cd. Tab. 4.

Czynnik biologiczny	Grupa zagrożenia*	Działanie na człowieka
<i>Fusarium</i> spp.	1	Silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Mucor</i> spp.	1	Reakcje alergiczne
<i>Penicillium</i> spp.	1	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
Cementownia		
<i>Acremonium</i> spp.	1	Sporadyczne infekcje narządowe, reakcje alergiczne
<i>Aspergillus flavus</i>	2	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn (aflatoksyny)
<i>Aspergillus sydowii</i>	1	Infekcje dróg oddechowych, silne reakcje alergiczne, grzybice paznokci
<i>Penicillium brevicompactum</i>	1	Reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Penicillium</i> spp.	1	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Scopulariopsis</i> spp.	1	Reakcje alergiczne
Elektrownia		
<i>Absidia</i> spp.	1	Reakcje alergiczne
<i>Aspergillus flavus</i>	2	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn (aflatoksyny)
<i>Aspergillus fumigatus</i>	2	Infekcje dróg oddechowych, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Aspergillus niger</i>	2	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn (ochratoksyny)
<i>Penicillium</i> spp.	1	Sporadyczne infekcje narządowe, silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Scopulariopsis</i> spp.	1	Reakcje alergiczne
Ferma drobiu		
<i>Candida</i> spp.	1	Grzybice skóry, paznokci, jamy ustnej
<i>Chrysosporium</i> spp.	1	Sporadyczne infekcje narządowe, reakcje alergiczne

cd. Tab. 4.

Czynnik biologiczny	Grupa zagrożenia*	Działanie na człowieka
<i>Cryptococcus neoformans</i>	2	Infekcje dróg oddechowych i opon mózgowo-rdzeniowych
<i>Fusarium</i> spp.	1	Silne reakcje alergiczne, produkcja mykotoksyn
<i>Geotrichum</i> spp.	1	Sporadyczne grzyby skóry
<i>Microsporium</i> spp.	2	Zakażenia skóry (dermatofitozy), reakcje alergiczne

* Klasyfikacja wg [3]

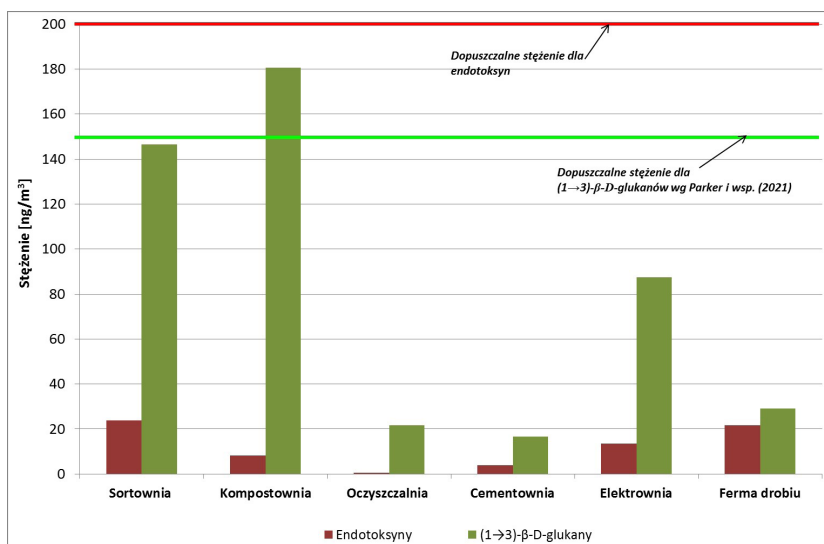
Podobnie jak w przypadku bakterii również niektóre gatunki grzybów wykazują działanie patogenne w stosunku do człowieka. Zwykle są to patogeny oportunistyczne, ale istnieją także grzyby o właściwościach zakaźnych, np. *Aspergillus fumigatus* – czynnik etiologiczny aspergilozy płuc. Ponadto grzyby charakteryzują się silnymi właściwościami alergizującymi.

Substancje pochodzenia mikrobiologicznego

Ocena właściwości immunotoksycznych drobnoustrojów ma znacznie szerszy wymiar i może objąć zarówno drobnoustroje pochodzące z różnych grup taksonomicznych, jak i komórki martwe, a także ich fragmenty. Jest to związane z możliwością rozpoznawania przez organizm człowieka najbardziej charakterystycznych struktur drobnoustrojów (głównie elementów budulcowych ściany komórkowej), selektywnie rozpoznawanych przez komórki układu immunologicznego. Do najważniejszych związków pochodzenia bakteryjnego są zaliczane endotoksyny bakteryjne oraz peptydoglikany, których występowanie w przyrodzie jest charakterystyczne odpowiednio dla bakterii Gram-ujemnych oraz bakterii ogółem. Z kolei z komórek grzybowych mogą być uwalniane (1→3)-β-D-glukany oraz mykotoksyny.

Substancje pochodzenia mikrobiologicznego nie są uznawane w klasyfikacji szkodliwych czynników biologicznych w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 2020 r. za czynniki szkodliwe dla zdrowia, choć wiele z nich takie właściwości posiada.

Spośród wymienionych substancji najczęściej mierzone na stanowiskach pracy są poziomy endotoksyn bakteryjnych oraz (1→3)-β-D-glukanów, w stosunku do których zaproponowano wartości dopuszczalnych stężeń (ryc. 6) w oparciu o dostępne dane dotyczące ich oddziaływania na organizm człowieka. Z dotychczasowych badań wynika, że substancje te przenoszone w powietrzu wykazują silne właściwości prozapalne i istotnie oddziałują na funkcjonowanie układu oddechowego pracowników, przyczyniając się do rozwoju różnych jednostek chorobowych, których charakterystykę przedstawiono w kolejnym rozdziale.



Ryc. 6. Stężenia endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów w próbkach pyłów organicznych różnego pochodzenia; wartości dopuszczalnych stężeń wg [6, 7]

Przedmiotem licznych badań są też mykotoksyny, czyli heterogenna pod względem chemicznym grupa substancji niskocząsteczkowych produkowana przez niektóre grzyby pleśniowe (m.in. grzyby z rodzajów *Aspergillus*, *Penicillium* i *Fusarium*). Ze względu na ich działanie można wśród nich wyróżnić substancje mutagenne, teratogenne czy cytotoksyczne, o charakterze nefrotoksycznym, hepatotoksycznym i neurotoksycznym. Dostępne obecnie dane potwierdzają, że cząstki pyłów organicznych mogą zawierać tego typu związki, jednakże stosowane techniki analityczne są w stanie wykryć je głównie w pyłe osiadłym, a nie w powietrzu. W ten właśnie sposób potwierdzono obecność licznych grzybowych metabolitów w pyłach z elektrowni,

oczyszczalni ścieków czy wytwarzanych podczas intensywnej hodowli trzody chlewnej. Były wśród nich m.in. sterygmatozystyna i ochratozyna A produkowane najczęściej przez grzyby z rodzaju *Aspergillus*; flavoglaucyna, której źródłem są pleśnie m.in. z rodzajów *Penicillium* i *Eurotium*; deoksyniwalenol pochodzący od grzybów z rodzajów *Fusarium*, *Trichoderma* oraz *Stachybotrys*. Z kolei w próbkach pyłów z zakładów produkujących przyprawy i kawę wykryto śladowe ilości kancerogennej aflatozyny, której źródłem są najczęściej grzyby z gatunku *Aspergillus flavus*.

Wirusy

Wirusy są grupą drobnoustrojów, które nie mają struktury komórkowej. Zbudowane są z rdzenia zawierającego kwasy nukleinowe (DNA lub RNA), otoczonego białkowym płaszczem zwanym kapsydem. Wszystkie wirusy są bezwzględnie pasożytami wewnątrzkomórkowymi, wykorzystującymi komórki do każdej czynności niezbędnej do replikacji i przeżycia.

Tabela 5. Wirusy występujące w próbkach pyłów organicznych różnego pochodzenia

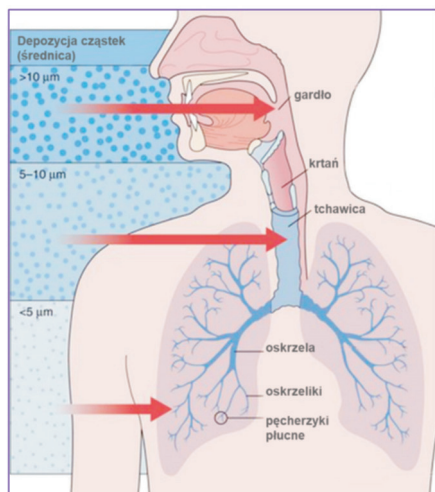
Nazwa wirusa	Występowanie	Grupa zagrożenia*	Działanie na człowieka
Adenowirus (AdV)	Oczyszczalnie ścieków, sortownia odpadów, spalarnia odpadów	2	Infekcje układu oddechowego i pokarmowego
Astrowirus (AstV)	Oczyszczalnie ścieków	2	Infekcje układu pokarmowego
Rotawirus (RoV)	Oczyszczalnie ścieków	2	Infekcje układu pokarmowego
Norowirus	Oczyszczalnie ścieków	2	Infekcje układu pokarmowego
Ludzki bokawirus (HBoV)	Oczyszczalnie ścieków	2	Infekcje układu oddechowego i pokarmowego
Wirus rzekomego pomoru drobiu (choroba Newcastle)	Fermy drobiu	2	Zapalenie spojówek
Wirus ptasiej grypy (HPAI) A/H5N1	Fermy drobiu	3	Grypa o ciężkim przebiegu, zapalenie płuc, niewydolność oddechowa

* Klasyfikacja wg [3]

Informacje na temat zawodowej ekspozycji na wirusy obecne w pyłach organicznych są nieliczne. Wśród miejsc, w których potwierdzono występowanie wirusów, należy wymienić różne etapy zagospodarowania odpadów komunalnych (sortownie i spalarnie odpadów), oczyszczalnie ścieków oraz fermy drobiu i trzody chlewnej. W tabeli 5 przedstawiono listę wirusów obecnych w próbkach pyłów organicznych, których występowanie potwierdzono przy zastosowaniu analiz genetycznych.

6. SKUTKI ZDROWOTNE NARAŻENIA NA PYŁY ORGANICZNE

Narażenie na pyły organiczne niesie za sobą liczne skutki zdrowotne u pracowników wielu branż. Z uwagi na dużą łatwość przenikania cząstek pyłów do organizmu człowieka poprzez układ oddechowy to organy wchodzące w jego skład są głównymi miejscami, gdzie mogą rozwijać się różne jednostki chorobowe. Precyzyjne wskazanie obszaru dróg oddechowych, w którym będą przebiegały procesy chorobowe, zależy przede wszystkim od miejsca depozycji cząstek pyłów (ryc. 7). To z kolei jest determinowane przez średnice inhalowanych cząstek, zgodnie z zasadą, że im jest ona mniejsza, tym głębiej wnika do układu oddechowego. Niezwykle istotne jest



Ryc. 7. Depozycja cząstek pyłów organicznych w układzie oddechowym człowieka (źródło własne)

zatem posiadanie wiedzy na temat rozkładu ziarnowego bioaerozolu na danym stanowisku pracy, czyli rozkładu średnic cząstek unoszonych w powietrzu.

Częste i długotrwałe narażenie na pyły organiczne może prowadzić do powstania wielu zespołów chorobowych układu oddechowego. Najczęściej atakowany jest nabłonek nosa, ust, oskrzeli i pęcherzyków płucnych, a czynnikiem sprawczym mogą być na przykład bakterie *Pseudomonas aeruginosa* czy *Staphylococcus aureus*, obecne m.in. w pyłach z cementowni czy elektrowni opa-

lanej biomasą, które mogą powodować bakteryjne zapalenie płuc. Wydaje się jednak, że znacznie częściej kontakt osób narażonych z pyłami organicznymi przejawia się rozwojem u nich chorób o podłożu alergicznym, w tym alergicznego zapalenia pęcherzyków płucnych (AZPP), astmy oskrzelowej czy alergicznego nieżytu błony śluzowej nosa, a także o podłożu toksycznym (np. ODTS – zespół toksyczny wywołany pyłem organicznym).

Alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych (AZPP)

Najlepiej poznanym i najczęściej rozpoznawalnym schorzeniem związanym z narażeniem na pył organiczny jest AZPP, w skład którego wchodzi szereg jednostek charakteryzujących się bardzo podobnym obrazem klinicznym, lecz wywołanych przez różne czynniki etiologiczne. Jest to śródmiąższowa choroba płuc o podłożu zapalnym, będąca wynikiem reakcji nadwrażliwości immunologicznej na powtarzaną inhalację antygenów pochodzących z organizmów żywych (grzybów, bakterii, białek zwierzęcych), a także związków chemicznych (tab. 6).

Tabela 6. Postacie alergicznego zapalenia pęcherzyków płucnych (AZPP) w zależności od rodzaju antygeny odpowiedzialnego za powstanie objawów

Rodzaj antygeny	Antygen	Źródło	Postać AZPP
Promieniowce	<i>Thermoactinomyces vulgaris</i>	Spleśniały kompost	Płuco pracowników kompostowni
	<i>Thermoactinomyces sacchari</i>	Kompost grzybny	Płuco hodowców pieczarek
Grzyby	<i>Alternaria</i> spp., pył drzewny	Pył drzewnym, spleśniałe trociny	Płuco stolarzy
	<i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>A. clavatus</i>	Spleśniały słód	Płuco browarników
	<i>Aspergillus</i> spp.	Spleśniałe liście tytoniu	Płuco sortowników tytoniu
	<i>Mucor stolonifer</i>	Spleśniała papryka	Płuco hodowców papryki
Bakterie	<i>Pantoea agglomerans</i>	Pył bawełniany	Byssinoza
	<i>Bacillus subtilis</i>	Enzymy proszków do prania	Płuco detergentowe

cd. Tab. 6.

Rodzaj antygenu	Antygen	Źródło	Postać AZPP
Białka zwierzęce	Odchody, surowice, pióra ptasie	Gołębie, kury, indyki, papugi	Płuco hodowców ptaków
	Pył zwierzęcych futer	Sierść zwierząt	Płuco kuśnierzy
Związki chemiczne	Pyretrum	Pestycydy	Płuco sadowników
	Siarczek miedzi	Płyn przeciwgrzybiczy	Płuco spryskujących winorośl

Wyróżnia się trzy postacie tej choroby: ostrą, podostrą i przewlekłą. W ostrej postaci początkowe objawy pojawiają się po 2-9 godzinach po ekspozycji na antygen, a szczyt zachorowania występuje po 6-24 h. Gdy ekspozycja na antygen jest ograniczona, objawy zwykle mijają po kilku godzinach, a czasem dniach. U osób chorych dominują objawy grypopodobne: dreszcze, gorączka, poty, bóle mięśni, głowy, nudności, a także objawy ze strony układu oddechowego – kaszel i duszność (choć te nie występują zawsze). Obecne są rozsiane rzęzenia.

Postać podostra rozwija się po kilku dniach lub tygodniach stałej ekspozycji o mniejszym natężeniu. Dominują wtedy objawy chorobowe ze strony układu oddechowego – kaszel i duszność, które mogą nasilać się aż do silnej duszności i sinicy. Słyszalne są obustronne trzeszczenia u podstawy płuc, czasami świsty. Stwierdzane są antygenowo-swoiste przeciwciała IgG w surowicy.

Postać przewlekła jest często trudna do uchwycenia. Charakteryzuje się narastającą dusznością wysiłkową i kaszlem. Obserwowane są także osłabienie i utrata masy ciała, palce pałeczkowate oraz trzeszczenia u podstawy płuc.

Pogłębiona diagnostyka wykazuje zmiany w obrazie radiologicznym i tomografii komputerowej, zwiększoną limfocytozę w popłuczynach oskrzelowych, a także hypoksemię wysiłkową (obniżenie stężenia tlenu we krwi).

Astma oskrzelowa

Astma oskrzelowa jest przewlekłą chorobą zapalną dróg oddechowych, w której uczestniczy wiele komórek i substancji uwalnianych przez nie. Przewlekłe zapalenie jest przyczyną nadreaktywności oskrzeli, prowadzącej do nawracających epizodów świszczącego oddechu, duszności, ściskania w klatce piersiowej i kaszlu, występujących szczególnie w nocy lub nad ranem. Objawom tym zwykle towarzyszy rozlana obturacja oskrzeli o zmiennym nasileniu, często ustępująca samoistnie lub pod wpływem leczenia.

Grzyby, w tym pleśnie z rodzajów: *Penicillium*, *Aspergillus* i *Alternaria* należą do głównych czynników etiologicznych astmy oskrzelowej, które w środowisku zawodowym stanowią zagrożenie dla rolników, ogrodników, a także pracowników spichlerzy i młynarzy.

Alergiczny nieżyt błony śluzowej nosa

Alergiczny nieżyt nosa to zapalenie błony śluzowej charakteryzujące się wyciekaniem wydzieliny z nosa lub ściekaniem jej po tylnej ścianie gardła, kichaniem, zatkaniem lub świądem nosa. Mogą występować także objawy dodatkowe, takie jak: ból głowy, upośledzenie węchu i smaku oraz objawy zapalenia spojówek. Alergiczny nieżyt nosa może być spowodowany różnymi alergenami – pyłkami roślin (katar sienny) czy alergenami zwierząt czy grzybów. Może występować okresowo (np. tylko w okresie pylenia roślin) lub przewlekłe jako całoroczny alergiczny nieżyt nosa.

Zespół toksyczny wywołany pyłem organicznym (ODTS)

Narażenie na pył organiczny może być przyczyną zespołu toksycznego wywołanego pyłem organicznym (ang. *organic dust toxic syndrome* – ODTS). Ocenia się, że ta jednostka chorobowa może znacznie częściej występować u osób narażonych na pyły organiczne niż AZPP. Za najbardziej prawdopodobną przyczynę uważa się toksyczne działanie składników pyłów organicznych, w tym endotoksyn bakteryjnych, (1→3)- β -D-glukanów oraz mykotoksyn.

Zespół ODTS charakteryzuje się zwykle krótkim czasem (od 2 do 8 godz.) wystąpienia objawów po kontakcie z pyłami organicznymi. Do najczęściej spotykanych symptomów należą: gorączka, bóle mięśniowe, ucisk w klatce piersiowej, kaszel, bóle głowy, niekiedy duszność, jednak dolegliwości te utrzymują się nie dłużej niż 36 godzin. Obraz kliniczny ODTS jest mało charakterystyczny i czasami trudny do zróżnicowania z ostrą odmianą AZPP (tab. 7). Zwykle jednak w tym przypadku występuje brak antygenowo-swoistych przeciwciał w surowicy. Zauważalna jest podobna wrażliwość u wszystkich narażonych oraz spontaniczne zdrowienie w ciągu 24–36 godzin.

Tabela 7. Podstawowe różnice w rozpoznaniu ODTS i AZPP

Cecha	ODTS	AZPP
Rodzaj nieprawidłowości	Samoustępujący zespół objawów	Środmiażdżowa choroba płuc
Dominujące komórki w surowicy	Neutrofile	Limfocyty
Proces chorobowy	Nie powoduje uwalniania swoistych przeciwciał	Uwalnianie swoistych przeciwciał IgG
Zdjęcie klatki piersiowej	Normalne	Widoczne zmiany (infiltracja)
Badanie czynnościowe płuc	Niewielki sptycony oddech	Zmiany obturacyjne płuc
Czas trwania	Postać ostra	Postać ostra, podostra i przewlekła

Zmiany skórne w wyniku narażenia na pyły organiczne

Ekspozycja zawodowa na pyły organiczne zawierające konidia pleśni może również wywoływać zmiany skórne. Najczęściej wymienia się w tym wypadku atopowe zapalenie skóry (AZS). Zmiany skórne mogą rozwijać się po wziewnej prowokacji konidiami grzybów z rodzaju *Alternaria*. U przeważającej liczby chorych na AZS są wykrywane swoiste przeciwciała IgE przeciwko antygenom grzybów z rodzajów: *Candida*, *Alternaria* i *Aspergillus*.

7. OCENA RYZYKA ZAWODOWEGO NARAŻENIA NA SZKODLIWE CZYNNIKI BIOLOGICZNE

Opisane skutki zdrowotne narażenia pyły organiczne pokazują, że SCB stanowiące ich immanentną część wielokrotnie decydują o wystąpieniu określonych jednostek chorobowych. Istotne okazują się zarówno poziomy rejestrowanych stężeń różnych grup drobnoustrojów, jak i skład jakościowy mikrobioty na konkretnym stanowisku pracy. Niezbędne jest zatem właściwe przeprowadzenie oceny ryzyka zawodowego na SCB.

Należy mieć świadomość, że obecnie występuje **brak** ogólnie akceptowanych kryteriów narażenia na szkodliwe czynniki biologiczne, jak rów-

niez ogólnie uznanych wartości dopuszczalnych i zaleceń metodycznych. W związku z tym, zgodnie z rozporządzeniem MZ z dn. 11.12.2020 r. [3], ocena ryzyka związanego z narażeniem na czynniki biologiczne **powinna być oceną jakościową**. Schemat oceny ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na szkodliwe czynniki biologiczne przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Schemat oceny ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na szkodliwe czynniki biologiczne

Etap oceny ryzyka	Charakterystyka etapu oceny ryzyka
1.	Scharakteryzuj dokładnie miejsce pracy, uwzględniając informacje o używanych maszynach i narzędziach, wykonywanych czynnościach, czasie ich wykonywania oraz zastosowanych środkach zapobiegawczych. W szczególności zwróć uwagę na czynności lub procesy, którym towarzyszy zwiększone tworzenie się bioaerozoli oraz ryzyko skałeczenia.
2.	Zidentyfikuj zagrożenia biologiczne na stanowisku pracy. PAMIĘTAJ! Obowiązujące prawo umożliwia Ci to w dwojaki sposób: – opierając się na danych z piśmiennictwa lub wynikach badań przeprowadzonych w podobnych zakładach pracy, – opierając się na wynikach badań własnych (ocena narażenia zgodnie z obowiązującymi normami).
3.	Posiadasz już listę wiodących czynników biologicznych. Przyporządkuj je do właściwych grup zagrożenia w oparciu o załącznik nr 1 do rozporządzenia Ministra Zdrowia z 11.12.2020 r. PAMIĘTAJ! Uwzględniaj wszystkie oznaczenia dodatkowe, jakie są przypisane danemu czynnikowi.
4.	Na podstawie zidentyfikowanych i przypisanych do odpowiednich grup zagrożenia drobnoustrojów oceń stopień zagrożenia dla całego badanego stanowiska pracy i czynności na nim wykonywanych. Pozwoli Ci to na określenie właściwego stopnia hermetyczności, który umożliwi zastosowanie odpowiednich środków zapobiegawczych.
5.	Na podstawie załącznika nr 5 do rozporządzenia Ministra Zdrowia z 11.12.2020 r. rozważ możliwe do zastosowania w Twoim zakładzie pracy środki zapobiegawcze, które pozwolą ograniczyć ryzyko zawodowe związane ze szkodliwymi czynnikami biologicznymi.
6.	Sporządź wymaganą przepisami prawa odpowiednią dokumentację.
7.	Poinformuj pracowników o wynikach wykonanej oceny ryzyka zawodowego.

Interpretacja wyników pomiarów bioaerozoli w środowisku jest utrudniona z uwagi na brak powszechnie uznanych wartości dopuszczalnych lub referencyjnych. Oznaczenie stopnia mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza wyrażonego liczbą jednostek tworzących kolonie (jtk) w 1m³ powietrza jest jak dotąd najlepiej znaną i najczęściej stosowaną miarą określającą narażenie na szkodliwe czynniki biologiczne. W ocenie higienicznej badanych stanowisk pracy jest zalecane posługiwanie się klasyfikacją dopuszczalnych stężeń mikroorganizmów zaproponowaną przez Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy (ZECB) [6]. Klasyfikacja ta określa m.in. wartości dopuszczalnych stężeń bakterii i grzybów w powietrzu, wypracowane w oparciu o wyniki pomiarów wolumetrycznych bioaerozoli (tab. 9). Wartości te zostały opracowane w wyniku pomiarów środowiskowych z uwzględnieniem potencjalnej szkodliwości określonego czynnika biologicznego i powinny być traktowane jako norma fakultatywna lub pomocnicze wartości referencyjne.

Tabela 9. Zalecane wartości dopuszczalnych stężeń dla szkodliwych czynników biologicznych [6]

Czynnik mikrobiologiczny	Dopuszczalne stężenie	
	Pomieszczenia robocze zanieczyszczone pyłem organicznym	Pomieszczenia mieszkalne i użyteczności publicznej
Bakterie mezofilne	100000 jtk/m ³	5000 jtk/m ³
Bakterie Gram-ujemne	20000 jtk/m ³	200 jtk/m ³
Termofilne promieniowce	20000 jtk/m ³	200 jtk/m ³
Grzyby	50000 jtk/m ³	5000 jtk/m ³
Czynniki z grupy 3. i 4. zagrożenia	0 jtk/m ³	0 jtk/m ³
Endotoksyna bakteryjna	200 ng/m ³ (2000 JE/m ³)	5 ng/m ³ (50 JE/ m ³)

jtk – jednostka tworząca kolonie; JE – jednostka endotoksyczna

W przypadku zalecanego stężenia dla (1→3)-β-D-glukanów można posługiwać się wartością zaproponowaną przez Parkera i wsp. [7]. Została ona wyznaczona na poziomie 150 ng/m³, w oparciu o najistotniejsze wykonane dotąd badania niekliniczne i reakcje zapalne.

8. OGRANICZANIE RYZYKA ZAWODOWEGO NARAŻENIA NA PYŁY ORGANICZNE

Należy pamiętać, iż wszelkie działania profilaktyczne służące ochronie osób zatrudnionych przed czynnikami szkodliwymi, w tym pyłami organicznymi, pracodawca powinien opierać na filozofii **STOP**, czyli sposobie postępowania zakładającym zhierarchizowane wprowadzanie środków ochrony pracowników (rycina 8).



Ryc. 8. Ograniczanie ryzyka zawodowego wg filozofii STOP (źródło: archiwum CIOP-PIB)

S – Substytucja (eliminowanie narażenia)

Z uwagi na mnogość branż, w których występuje narażenie na pyły organiczne, wskazane jest precyzyjne prześledzenie dostępnych branżowych przepisów prawnych, które określają sposoby działania mające ograniczyć występowanie zagrożeń na stanowiskach pracy. Takie przepisy zostały wprowadzone np. dla pracowników oczyszczalni ścieków czy zatrudnionych przy zagospodarowaniu odpadów komunalnych. Ponadto należy dążyć do zmiany procesów produkcyjnych, dzięki czemu będzie możliwa całkowita eliminacja lub znacząca redukcja ilości pyłów organicznych i obecnych w nich SCB. Przykładami takich działań mogą być: promowanie segregacji odpadów biodegradowalnych „u źródła”, tak by zmienić strukturę odpadów trafiających do zakładów zagospodarowania, ograniczając przy tym ich gnicie podczas transportu; automatyzacja procesu sortowania odpadów; eliminacja ściółki podczas hodowli zwierząt, która jest rezerwuarem licznych bakterii i grzybów; digitalizacja zdeponowanych w archiwach dokumentów papierowych, co zminimalizuje zapylenie w tych instytucjach.

T – Techniczne zmiany na stanowiskach pracy

Do najważniejszych technicznych sposobów redukujących narażenie na pyły organiczne należy zaliczyć zastosowanie wydajnych i skutecznych instalacji wentylacyjnych (np. klimatyzacyjnych), które umożliwią stałe utrzymywanie właściwych parametrów mikroklimatu w pomieszczeniach roboczych oraz odpowiednią wymianę powietrza (ryc. 9).



Ryc. 9. Przykład instalacji wentylacyjnej przy składowaniu paliwa RDF w cementowni (fot. Mirosław Kubicki)

W zależności od sytuacji w danym zakładzie środki ochrony zbiorowej przed pyłami powinny obejmować systemy wentylacji mechanicznej ogólnej oraz instalacje i urządzenia wentylacji mechanicznej miejscowej, wyposażone w filtry powietrza o wysokiej wydajności separacji cząstek. Jeżeli względy technologiczne na to pozwalają, należy rozważyć wytworzenie podciśnienia w niektórych pomieszczeniach czy halach, by strugę zanieczyszczeń skierować w obszar wyłączony z działania pracowników.

Z kolei w halach przemysłowych, w których na poszczególnych stanowiskach pracy są emitowane znaczne ilości pyłów, zaleca się hermetyzację procesów technologicznych przez:

- szczelne obudowy całkowite lub częściowe rejonu emisji zanieczyszczeń
- stosowanie instalacji wentylacji miejscowej wyposażonej w ssawki lub oka-py, połączonej z systemem odpylającym lub urządzeniem filtracyjno-wentylacyjnym.

Jeżeli względy bezpieczeństwa na to pozwalają, zalecane jest zastosowanie zraszaczy, dzięki którym można by znacząco ograniczyć unoszenie się cząstek pyłów w powietrzu.

O – Działania organizacyjne na stanowiskach pracy

- ograniczenie zbyt długiego składowania surowców (odpadów, osadów, biomasy, ściółki itp.), by ograniczyć ich gnicie
- minimalizacja liczby pracowników działających w obszarach zakładów, w których występuje duże zapylenie
- wprowadzenie monitoringu procesów technologicznych
- wdrożenie planu czyszczenia pomieszczeń produkcyjnych/technologicznych
- stworzenie wydzielonych pomieszczeń socjalnych/jadalni
- wprowadzenie zakazu jedzenia, picia lub palenia w miejscu pracy
- wprowadzenie w życie 3-stopniowego planu ochrony skóry



- stworzenie szatni z szafkami do oddzielnego przechowywania odzieży roboczej i prywatnej
- regularne czyszczenie oraz zmiana ubrań roboczych i ochronnych
- rozmieszczenie na terenie zakładu stanowisk do płukania oczu w wypadku ich zaprószenia
- zastosowanie odpowiedniego znaku ostrzegającego w celu zwiększenia świadomości pracowników odnośnie występowania szkodliwych czynników biologicznych w miejscu pracy
- prowadzenie monitoringu narażenia na pyły organiczne (wartość NDS na poziomie 4 mg/m^3)
- prowadzenie monitoringu parametrów mikroklimatu
- prowadzenie monitoringu narażenia na szkodliwe czynniki biologiczne (pomiar czystości powietrza)
- informowanie i szkolenie pracowników w celu promowania bezpiecznych nawyków pracy oraz prowadzenie szkoleń dla pracowników z zewnątrz



- aktualizowanie wiedzy w oparciu dostępne i wiarygodne źródła wiedzy w tym zakresie (np. baza BioInfo)
- zapewnienie nadzoru medycznego pracownikom (profylaktyczne badania lekarskie i szczepienia)
- regularne aktualizowanie oceny ryzyka zawodowego na obecność szkodliwych czynników biologicznych.



P – Zastosowanie środków ochrony indywidualnej

- zapewnienie masek ochronnych z wkładem filtrującym powietrze FFP2 (w razie konieczności), w celu ochrony dróg oddechowych
- wyposażenie pracowników w jednorazowe rękawiczki oraz okulary ochronne.

PIŚMIENNICTWO

1. Rozporządzenie MGPIPS z dnia 28 sierpnia 2003 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz. U. Nr 169, poz. 1650).
2. Dyrektywa Komisji (UE) 2019/1833 z dnia 24 października 2019 r. zmieniająca załączniki I, III, V i VI do dyrektywy 2000/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do dostosowań wyłącznie technicznych.
3. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 11 grudnia 2020 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki (Dz. U. poz. 2234).
4. Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 18 lutego 2021 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. poz. 325).
5. Maciejewska A, Król M. Respirabilna krystaliczna krzemionka: kwarc i krystobalit. Oznaczenie w powietrzu na stanowiskach pracy metodą spektrometrii w podczerwieni (FT-IR), bezpośrednio na filtrach. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2014;3(81):103-119.
6. Pośniak M, Skowroń J. Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne 2020. Warszawa: CIOP-PIB; 2020.
7. Parker JA, Boles C, Buerger AN, et al. Derivation of an occupational exposure limit for β -glucans. Regul Toxicol Pharmacol. 2021;123:104959.
8. PN-EN 13098:2020-01. Narażenie na stanowiskach pracy – Pomiar mikroorganizmów i produktów pochodzenia drobnoustrojowego zawieszonych w powietrzu – Wymagania ogólne.
9. PN-EN 14031:2021-12. Narażenie na stanowiskach pracy – Pomiar ilościowy endotoksyn występujących w powietrzu.
10. PN-EN 14583:2022-05. Narażenie na stanowiskach pracy – wolumetryczne próbniki bioaerozolu – Wymagania ogólne i ocena sprawności działania.