



Aerozole pochodzenia bakteryjnego w pomieszczeniach roboczych zakładu gospodarki odpadami

*Marcin Cyprowski, Agata Stobnicka, Rafał Górny,
Małgorzata Gołofit-Szymczak, Anna Ławniczek-Wałczyk*
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

1. Wprowadzenie

Według Europejskiej Agencji Środowiska przewiduje się, że do roku 2020 ilość odpadów komunalnych wzrośnie o 25%. Ocenia się ponadto, że wzrost ten będzie większy w nowo przyjętych państwach Unii Europejskiej, do których zalicza się również Polska, co spowodowane jest głównie rozwojem gospodarki i zmianami w modelu konsumpcji (EEA Briefing 2008). W związku z prognozowanymi zmianami, Unia Europejska przyjęła dyrektywę 2008/98/WE, będącą kluczowym aktem prawa UE w dziedzinie gospodarki odpadami. Jednym z głównych jej zadań jest dążenie do stworzenia „społeczeństwa recyklingu”, którego celem będzie „unikanie wytwarzania odpadów oraz wykorzystywanie odpadów jako zasobów” (Dyrektywa, 2008).

Poczynione kroki prawne spowodowały, iż w ostatnich latach w Polsce co raz intensywniej tworzone są nowe zakłady, mające na celu odzysk odpadów. Powstające nowoczesne instalacje często stanowią kompilację różnych sposobów zagospodarowania odpadów, w których skład wchodzi m.in. linie sortownicze, kompostownie odpadów biodegradowalnych jak również miejsca składowania tzw. balastu. Zważywszy, że nie wszystkie procesy technologiczne mogą być zautomatyzowane, konieczne jest zatrudnianie nowych osób wykonujących prace związane z zagospodarowaniem odpadów. Złożony i zmienny skład jako-

ściowy odpadów komunalnych ma wpływ na zagrożenia zawodowe (fizyczne, chemiczne oraz biologiczne) występujące w środowisku takiej pracy. Między innymi odpady są źródłem pyłu organicznego, który jest nośnikiem szkodliwych czynników biologicznych (SCB), w tym bakterii, grzybów i ich toksyn (Rylander & Jacobs 1994). Szacuje się, że w sektorze zagospodarowania odpadów komunalnych w Polsce zatrudnionych jest ponad 13 tys. pracowników, w tym ok. 7 tys. w warunkach narażenia zawodowego na SCB.

Dotychczasowe dane pokazują, że na stanowiskach pracy w trakcie długiego procesu zagospodarowania odpadów komunalnych można było zidentyfikować ponad 200 różnych gatunków bakterii i grzybów (Szadkowska 2007), w tym patogennych dla człowieka, które są zaklasyfikowane do 2. lub 3. grupy zagrożenia według rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2005 r. (Rozporządzenie 2005). Można tu wymienić przede wszystkim bakterie pochodzenia kałowego z rodziny *Enterobacteriaceae* lub z rodzaju *Enterococcus*, a także grzyby z rodzajów *Aspergillus* i *Penicillium*. Ich stężenia, w zależności od typu stanowiska pracy, mogą osiągać wartości 10^4 - 10^5 jtk/m³ (jtk – jednostki tworzące kolonie) (Krajewski i in. 2002). Ponadto wykazano wyższe niż w innych branżach stężenia endotoksyn bakteryjnych oraz (1→3)-β-D-glukanów pochodzenia grzybowego (Ławniczek-Wałczyk & Górny 2010). Pomimo znaczącego postępu wiedzy w tym zakresie, nadal istnieją obszary niedostatecznie rozpoznane. Przykładem mogą być bakterie beztlenowe oraz inne immunoreaktywne cząstki pochodzenia mikrobiologicznego, jak peptydoglikany, które mogą wykazywać, podobnie jak endotoksyny, działanie prozapalne na układ oddechowych pracowników (Sigsgaard i in. 2005).

Celem prezentowanej pracy była kompleksowa ocena narażenia na bakterie tlenowe i beztlenowe, a także endotoksyny i peptydoglikany obecne w powietrzu na stanowiskach pracy w zakładzie gospodarki odpadami.

2. Metodyka badań

2.1. Pobieranie próbek bioaerozoli

Badania zostały przeprowadzone w okresie wiosennym (kwiecień) w zakładzie gospodarki odpadami, w którego skład wchodziły sortownia i kompostownia odpadów, dokąd dowożone były odpady z kilku

okolicznych gmin. Na jego terenie, w najbardziej charakterystycznych miejscach procesu technologicznego wyznaczono trzy punkty pomiarowe: S1 – wstępna kabina sortownicza, S2 – hala sortowni w pobliżu transporterów taśmowych oraz S3 – hala kompostowni w pobliżu bunkrów. Dodatkowo, przed bramą wjazdową zlokalizowaną około 100 m od badanych pomieszczeń roboczych pobrano próbki tła (S4).

Próbki powietrza na obecność aerozolu bakteryjnego były pobierane stacjonarnie za pomocą 6-stopniowego impaktora Andersena, który może separować cząstki aerozoli o następujących średnicach aerodynamicznych 0,65/1,1/2,1/3,3/4,7/7 μm (model 10-710, Graseby-Andersen, Inc., Atlanta, USA). Impaktor był ustawiany na badanym stanowisku na wysokości ok. 1,5m nad powierzchnią podłogi lub gruntu. W badaniach aerozolu bakteryjnego zastosowano 5 minutowy czas pobierania próbek, przy prędkości przepływu strugi powietrza na wejściu do pompy zestawu pomiarowego – 28,3 l/min. W celu pobrania próbek aerozolu mikrobiologicznego zastosowano następujące podłoża:

- a) TSA z 5% dodatkiem odwłóknionej krwi baraniej dla bakterii tlenowych,
- b) podłoże Schaedler'a z 5% dodatkiem odwłóknionej krwi baraniej dla bakterii beztlenowych.

Podłoża zostały przygotowane zgodnie z instrukcjami podanymi przez ich producenta (bioMérieux, Marcy l'Etoile, Francja).

Próbki powietrza w celu analizy endotoksyn i peptydoglikanów były pobierane za pomocą 8-stopniowego impaktora kaskadowego (model 20-830, New Star Environmental, Inc., Roswell, USA), który może separować cząstki o następujących średnicach aerodynamicznych: 0,4/0,7/1,1/2,1/3,3/4,7/5,8/9,0 μm . Na każdym stopniu impaktora został umieszczony filtr membranowy z włókien szklanych (GF/A, Whatman Inc., Wielka Brytania) o średnicy 81 mm, na którym deponowały się separowane cząstki.

W celu usunięcia potencjalnych zanieczyszczeń mikrobiologicznych, które mogą się znajdować na filtrach, każdy ich zestaw został poddany procesowi depyrogenizacji, poprzez działanie wysokiej temperatury (220°C w czasie minimum 3 godzin). Pobieranie próbek odbywało się przez 30 minut, przy ustalonym przepływie 28,3 l/min. Po skończonym pomiarze filtry były przenoszone do sterylnych pojemników, które po

dostarczeniu do laboratorium zostały zamrożone w temperaturze -20°C . W takich warunkach były przechowywane do czasu przeprowadzenia analiz peptydoglikanów i endotoksyn.

Na każdym badanym stanowisku podczas pomiarów bioaerozoli przeprowadzano równolegle pomiar wilgotności względnej i temperatury powietrza. W celu wyznaczenia wartości obu tych parametrów posługiwało się termohigrometrem (Conrad Electronic GmbH, Hirschau, Niemcy).

2.2. Analiza laboratoryjna próbek aerozoli bakteryjnych

Warunki inkubacji mikrobiologicznych próbek bioaerozoli przedstawiały się dla badanych grup mikroorganizmów następująco: bakterie tlenowe: 1 dzień (37°C) + 3 dni (22°C) + 3 dni (4°C), zaś bakterie beztlenowe: 2 dni (37°C) + 2 dni (30°C). Przedłużona inkubacja próbek w kierunku bakterii miała na celu umożliwienie wzrostu szczepom wolno rosnącym w niższym zakresie temperatur (Macher 1999, Jensen & Schafer 1998).

Po inkubacji, zliczeniu kolonii oraz uwzględnieniu objętości próbki wyznaczano stężenie mikroorganizmów w jednostkach tworzących kolonie w 1m^3 powietrza [jtk/ m^3]. Wartości jtk wyznaczano oddzielnie dla każdego stopnia impaktora oraz dla danego rodzaju lub gatunku mikroorganizmu, sumując wartości jtk z wszystkich 6 stopni. Granica oznaczalności tej metody to 7 jtk/ m^3 .

Mikroorganizmy wyizolowane z powietrza identyfikowano do szerebla rodzaju lub gatunku. Do analizy bakterii tlenowych i beztlenowych wykorzystano ich zdolności enzymatycznego rozkładu organicznych substratów, wykrywając za pomocą odpowiednich odczynników metabolity, uzyskiwane w wyniku tych reakcji. W tym celu zastosowano następujące szeregi biochemiczne API (bioMérieux): 20 Staph, 20 Strep, 20 NE, 20 E, 50 CHB/E, Coryne oraz 20 A. Wyniki testów biochemicznych (przy jednoczesnym uwzględnieniu rezultatów analizy makro- i mikroskopowej oraz analizy cech fizjologicznych) decydowały ostatecznie o zaliczeniu badanego drobnoustroju do danego rodzaju lub gatunku.

2.3. Analiza laboratoryjna peptydoglikanów i endotoksyn bakteryjnych

W celu analizy peptydoglikanów i endotoksyn, zamrożone filtry zostały poddane eluacji w 10 ml wody LAL (Limulus Amebocyte Lysa-

te) (Lonza, Walkersville, USA). z dodatkiem 0,05% Tween 20 (Sigma, Polska). Próbkę eluowano na wytrząsarce platformowej w czasie 15 minut, po czym wirowano przy $1000\times g$ w czasie 15 minut. Z uzyskanego supernatantu pobierano 1,8 ml eluatu, który wykorzystany był następnie do analizy peptydoglikanów oraz endotoksyn bakteryjnych.

Oznaczanie peptydoglikanów obecnych w powietrzu na stanowiskach pracy przeprowadzone zostało z wykorzystaniem testu SLP (Silkworm Larvae Plasma) w wersji kinetycznej (Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Japonia). Po dodaniu równych ilości (po 30 μ l) próbek oraz lysatu SLP, wielkości stężeń peptydoglikanów określono spektrofotometrycznie za pomocą czytnika Biotek Synergy 2 (BioTek Inc., USA) przy długości fali 650 nm i w temperaturze 30°C. Wyniki uzyskano porównując absorbancje próbek z krzywą standardową w zakresie 50-1,563 ng/ml, która została sporządzona w oparciu o kolejne dwukrotne rozcieńczenia wzorcowego peptydoglikanu pozyskanego od *Micrococcus luteus* o stężeniu początkowym 1000 ng/ml. Wartości stężeń przedstawiono w jednostkach [ng/m^3].

Oznaczanie endotoksyn bakteryjnych obecnych w powietrzu na stanowiskach pracy przeprowadzono z wykorzystaniem testu LAL (*Limulus* Amebocyte Lysate) w wersji kinetycznej, chromogennej Kinetic-QCL (Lonza Walkersville, Inc., USA). Po dodaniu równych ilości (po 100 μ l) prób oraz lysatu LAL, wielkości stężeń endotoksyn określano za pomocą czytnika spektrofotometrycznego Biotek Synergy 2 (BioTek Inc.) zgodnie z wymogami testu LAL, przy długości fali 405 nm i w temperaturze 37°C. Wyniki uzyskano porównując absorbancje próbek z krzywą standardową w zakresie 100-0,049 EU/ml, która została sporządzona w oparciu o kolejne dwukrotne rozcieńczenia wzorcowej endotoksyny (CSE) *Escherichia coli* 055:B5 o aktywności 7 EU/ng. Wartości stężeń przedstawiono w jednostkach [ng/m^3].

2.4. Analiza statystyczna

Dla uzyskanych wyników obliczono statystyki opisowe, tj.: średnie geometryczne (GM), geometryczne odchylenia standardowe (GSD). Na potrzeby analizy statystycznej dane pomiarowe zlogarytmowano, dzięki czemu możliwe było zastosowanie testu *t*-Studenta oraz współczynnika korelacji Pearson'a. Dodatkowo, do oceny zróżnicowania taksonomicznego bakterii pomiędzy badanym zakładem a próbkami tła zastosowano test

Chi². Obliczenia wykonano przy użyciu pakietu Statistica (wersja 10-2011, StatSoft, Polska), przyjmując za znamienne statystycznie wartości $p < 0,05$. W przypadku danych będących poniżej poziomu oznaczalności, na potrzeby prowadzonych obliczeń statystycznych zastępowano je wartościami stanowiącymi wynik ilorazu: próg oznaczalności / $\sqrt{2}$.

3. Wyniki i dyskusja

Uzyskane stężenia bioaerozoli w pomieszczeniach roboczych zakładu gospodarki odpadami przedstawiono w tabeli 1. Największe zanieczyszczenie czynnikami biologicznymi zaobserwowano we wstępnej kabinie sortowniczej (S1), gdzie stężenia bakterii beztlenowych, endotoksyn oraz peptydoglikanów były najwyższe.

Tabela 1. Stężenia bioaerozoli w pomieszczeniach roboczych w zakładzie gospodarki odpadami

Table 1. Concentrations of bioaerosols in the waste management facility

Stanowisko	BT	BBT	EN	PG
	[jtk/m ³]		[ng/m ³]	
S1	3788	50163	471,3	1791,5
S2	4905	4537	94,3	1343,2
S3	4424	34700	117,8	1258,0
GM	4348	19914	173,6	1446,6
GSD	1,14	3,65	2,39	1,21
S4	551	466	21,9	706,5

BT – bakterie tlenowe; BBT – bakterie beztlenowe; EN – endotoksyny; PG – peptydoglikany; GM – średnia geometryczna; GSD – geometryczne odchylenie standardowe.

Przeprowadzona analiza wykazała, iż w przypadku bakterii tlenowych ich średnie stężenie obliczone na podstawie pomiarów ze wszystkich badanych pomieszczeń było istotnie wyższe niż próbkach tła ($p < 0,01$). Dla pozostałych analizowanych czynników nie stwierdzono takich zależności. Nie wykazano także istotnych korelacji pomiędzy badanymi składnikami bioaerozoli.

Ocena higieniczna uzyskanych wyników była możliwa dzięki proponowanym przez Zespół Ekspertów ds. Czynn timer Biologicznych

Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy (Augustyńska & Pośniak 2014) wartościami normatywów dla bakterii mezofilnych oraz endotoksyn. Dla pomieszczeń (miejsc pracy) zanieczyszczonych pyłem organicznym wartość referencyjna dla bakterii mezofilnych została ustalona na poziomie 100000 jtk/m^3 . Na tej podstawie można stwierdzić, iż wykazane w badaniu stężenia bakterii mezofilnych (tlenowych i beztlenowych razem) nie przekraczały podanej wartości normatywnej. Stężenia bakterii w zakładzie gospodarki odpadami nie odbiegały także znacząco od tych przytaczanych w piśmiennictwie przedmiotu. Między innymi badacze brytyjscy (Stagg i in. 2013) podali, iż na terenie sortowni odpadów stężenia oscylowały w zakresie 10^3 - 10^5 jtk/m^3 , z czego ponad 70% wyników przekraczało poziom 10^4 jtk/m^3 . O podobnym zakresie stężeń bakterii w kabinie sortowniczej raportowali Krajewski i in. (2002), zaś w badaniu koreańskim (Park i in. 2011) średnie stężenie bakterii było na poziomie 10^5 jtk/m^3 . Jednakże istotnym jest fakt, że w przytoczonych badaniach ograniczano się jedynie do oceny zanieczyszczenia bakteriami tlenowymi, zaś pobór próbek miał charakter pomiaru indywidualnego, tj. zestaw pomiarowy był zamontowany na ubraniu pracowników. Należy zatem przypuszczać, że po ewentualnym uwzględnieniu w tych analizach bakterii beztlenowych stężenia byłyby jeszcze wyższe.

Oznaczone w obecnym badaniu stężenia endotoksyn były wyższe niż w innych badaniach w podobnym środowisku (Liebers i in. 2006, Pearson i in. 2015). W Polsce przyjęto dla endotoksyn wartość graniczną na poziomie 2000 JE/m^3 (JE – jednostka endotoksyny) ($\sim 200 \text{ ng/m}^3$). W przeprowadzonym badaniu została ona ponad 2-krotnie przekroczona w kabinie sortowniczej, zaś w pozostałych pomieszczeniach roboczych obserwowane stężenia mieściły się w zakresie wartości zalecanych. Jednakże uzyskane wyniki we wszystkich punktach pomiarowych były wyższe od zaproponowanej przez DECOS (2010) wartości dopuszczalnej określonej na poziomie 90 EU/m^3 ($\sim 9 \text{ ng/m}^3$). Poziom ten określa rzeczywistą minimalną wartość stężenia endotoksyn, przy którym zachodzą pierwsze reakcje zapalne w układzie oddechowym mierzone parametrem FEV_1 . Dla poziomów powyżej 200 ng/m^3 możliwe jest wystąpienie u osób narażonych toksycznego zapalenia płuc, w tym toksycznego syndromu wywołanego pyłem organicznym (ODTS), który charakteryzuje

się występowaniem objawów grypopochodnych (ból głowy, dreszczy, podwyższonej temperatury), mających charakter odwracalny. Na podstawie nielicznych badań można zasugerować także, iż endotoksyny mogą przyczyniać się do uszkodzenia miąższu płucnego, co może objawiać się występowaniem u narażonych osób hipoksemii, czyli obniżenia ciśnienia parcjalnego tlenu we krwi (Weber i in. 1993, Gust i in. 1998).

Oznaczone w obecnym badaniu poziomy peptydoglikanów należą do jednych z nielicznych danych dostępnych w piśmiennictwie przedmiotu. Wykazane średnie stężenie (1446 ng/m^3) jest blisko 2-krotnie wyższe od stwierdzonego w sortowniach przez badaczy z Finlandii (Laitinen i in. 2001) i jest zbliżone do poziomów obserwowanych przy hodowli trzody chlewnej (Jolie i in. 1998). Według bardzo skąpych doniesień można przypuszczać, iż takie narażenie może powodować reakcje zapalne w układzie oddechowym pracowników sortowni odpadów (Zhiping i in. 1996, Harting i in. 2012).

W sposób pionierski w obecnym badaniu wykonano analizę bakterii beztlenowych. Uzyskane wyniki pokazały, iż na terenie zakładu bakterie te były grupą dominującą, stanowiącą około 82% wszystkich zidentyfikowanych drobnoustrojów, lecz proporcje te zmieniały się w zależności od miejsca pomiaru. W pomieszczeniach kabiny sortowniczej oraz w hali kompostowni ich udział wynosił odpowiednio 93% i 88%, jednak w pobliżu transporterów w hali sortowni nie przekraczał 50%, co prawdopodobnie wynikało z lepszego przewentylowania tej części sortowni. Kabina sortownicza to pomieszczenie o stosunkowo niewielkiej kubaturze, gdzie trafiają nowo przywiezione odpady, często zapakowane w plastikowe worki, w których może dochodzić do ich gnicia. Zastosowana w kabinie sortowniczej instalacja wentylacyjna wydaje się mało wydajna i tym samym niewystarczająca do usuwania z powietrza drobnoustrojów bakteryjnych uwalnianych z odpadów. Z kolei hala kompostowni to pomieszczenie, które ze względów bezpieczeństwa jest często zamykane, gdyż w zlokalizowanych bunkrach prowadzone są różne etapy procesu kompostowania, podczas których może być uwalniany dwutlenek węgla oraz metan (biogaz). Następuje wtedy tzw. sukcesja mikroorganizmów, czyli następuje dominacja określonych gatunków bakterii i grzybów w związku ze zmianami temperatury w procesie tworzenia humusu z odpadów organicznych (Błaszczuk & Fit 2005).

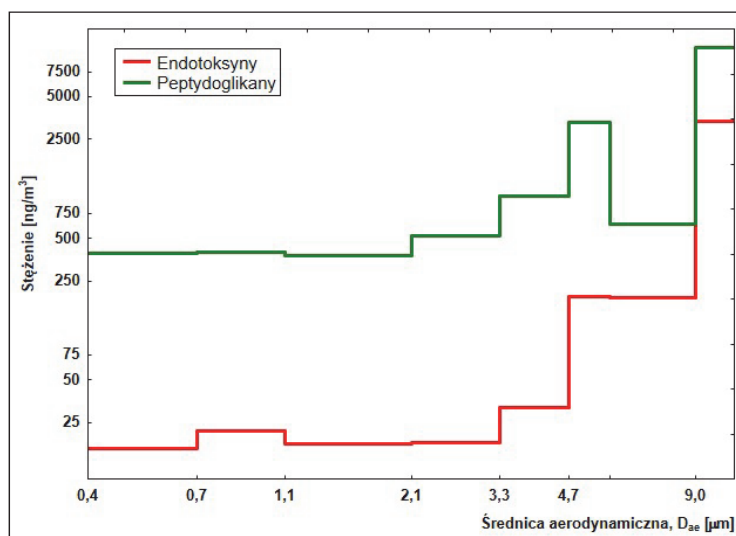
Pomiary na terenie zakładu gospodarki odpadami pozwoliły zidentyfikować łącznie 22 gatunki bakterii, które należały do 13 rodzajów. Największą różnorodność taksonomiczną zaobserwowano na terenie sortowni odpadów (21 gatunków), zaś w kompostowni stwierdzono obecność 15 gatunków. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, iż różnica w liczbie zidentyfikowanych gatunków bakterii pomiędzy zakładem gospodarki odpadami (S1-S3) a próbkami tła (S4) była istotna statystycznie ($p < 0,05$). Pełny wykaz oznaczonych drobnoustrojów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Analiza jakościowa bakterii w pomieszczeniach roboczych w zakładzie gospodarki odpadami

Table 2. Qualitative analysis of bacteria in the waste management facility

	Gatunek/rodzaj bakterii	Sortownia		Kompostownia	Tło
		S1	S2	S3	S4
Bakterie tlenowe	<i>Bacillus cereus</i>	+	+		+
	<i>Bacillus licheniformis</i>	+	+	+	+
	<i>Bacillus pumilus</i>	+	+	+	+
	<i>Bacillus spp.</i>	+	+	+	+
	<i>Kocuria varians</i>	+			+
	<i>Pseudomonas luteola</i>	+	+		
	<i>Proteus vulgaris</i>	+	+		
	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	+	+	+	
	<i>Staphylococcus sciuri</i>	+	+	+	+
	<i>Staphylococcus spp.</i>	+	+	+	+
	<i>Streptomyces spp.</i>	+	+		
Bakterie beztlenowe	<i>Actinomyces israelii</i>	+	+	+	
	<i>Actinomyces meyeri</i>	+	+	+	
	<i>Actinomyces naeslundii</i>				+
	<i>Bacteroides ovatus</i>	+		+	
	<i>Bifidobacterium spp.</i>	+	+	+	+
	<i>Clostridium perfringens</i>	+	+	+	+
	<i>Eubacterium limosum</i>	+		+	
	<i>Fusobacterium mortiferum</i>	+	+	+	+
	<i>Gemella morbillorum</i>	+			
	<i>Staphylococcus constellatus</i>		+	+	+
	<i>Staphylococcus intermedius</i>	+	+	+	+

Wśród oznaczonych gatunków, 6 z nich można potraktować jako potencjalnie szkodliwe dla zdrowia osób narażonych, gdyż zostały sklasyfikowane do 2. grupy zagrożenia według rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2005 roku. Są to: *Actinomyces israelii*, *A. meyeri*, *A. naeslundii*, *Clostridium perfringens*, *Proteus vulgaris* oraz *Streptomyces* spp.



Rys. 1. Rozkłady ziarnowe endotoksyn i peptydoglikanów w zakładzie gospodarki odpadami

Fig. 1. Size distribution of airborne endotoxins and peptidoglycans in the waste management facility

Na podstawie uzyskanych wyników możliwa była analiza rozkładów ziarnowych badanych składników bioaerozoli. W przypadku bakterii, okazało się, że mogą one występować przeważnie w postaci pojedynczych komórek o średnicy aerodynamicznej w zakresie 1,1-2,1 μm , co wynika z rozmiarów Gram-dodatnich bakterii z rodzajów *Micrococcus*, *Staphylococcus*, czy beztlenowych *Bifidobacterium*, które są stosunkowo odporne na wysuszenie. Ponadto, obserwowano również występowanie bakterii w cząstkach agregowanych o dużych rozmiarach, których średnice mieściły się w zakresie 4,7-7,0 μm , co prawdopodobnie było związane z połączeniem komórek bakteryjnych z cząsteczkami pyłu organicznego. W przypadku peptydoglikanów i endotoksyn w zakładzie go-

spodarki odpadami widoczny zaobserwowano stopniowy wzrost stężeń wśród cząstek o średnicach aerodynamicznych w zakresie 3,3-11 μm (rys. 1). Analiza ta może sugerować, iż obserwowane w miejscach pracy aerozole bakteryjne mogą być deponowane w środkowym i górnym odcinku dróg oddechowych narażonych pracowników.

4. Podsumowanie i wnioski

Uzyskane wyniki badań pokazały, że powietrze w pomieszczeniach roboczych w zakładzie gospodarki odpadami było silnie zanieczyszczone aerozolami pochodzenia bakteryjnego, których poziomy były istotnie wyższe niż w powietrzu atmosferycznym. Stężenia bakterii nie przekraczały co prawda dopuszczalnych poziomów przypisanych dla tego typu pomieszczeń, jednak analiza jakościowa mikrobioty wykazała dominację bakterii beztlenowych, których badanie nie było wcześniej prowadzone w tego typu środowisku pracy. Wśród zidentyfikowanych bakterii obecne były ponadto gatunki o potencjalnych właściwościach chorobotwórczych dla człowieka. Stężenia endotoksyn, szczególnie w kabinie sortowniczej należy uznać za wysokie, co może skutkować występowaniem u pracowników tam zatrudnionych toksycznego zapalenia płuc. Pionierskie badanie peptydoglikanów pokazało, że obserwowane stężenia mogą także oddziaływać prozapalnie na środkową i górną część układu oddechowego pracowników, szczególnie gdy ich cząsteczki mogą podlegać agregacji na powierzchni pyłu organicznego. W związku z wykazanymi poziomami zanieczyszczeń mikrobiologicznych wskazane jest zwrócenie szczególnej uwagi na efektywność oczyszczania i wymiany powietrza w pomieszczeniach roboczych, a w sytuacji gdy te działania nie będą wystarczające, wyposażenie pracowników w odpowiednie indywidualne środki ochrony układu oddechowego.

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

Literatura

- Augustyńska, D., Pośniak, M. (2014). *Mędzyresortowa Komisja ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynn timer Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy – Czynn timer szkodliwe w środowisku pracy – Wartości dopuszczalne*. Warszawa: CIOP PIB.
- Błaszczuk, M., & Fit, M. (2005). *Sukcesja mikroorganizmów w czasie kompostowania odpadów organicznych*. W: VII Konferencja Naukowo-Techniczna WODA-ŚCIEKI-ODPADY W ŚRODOWISKU pt. "Biologiczne przetwarzanie stałych odpadów organicznych", Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski.
- Pearson, C., Littlewood, E., Douglas, P., Robertson, S., Gant T.W., Hansell A.L. (2015). Exposures and health outcomes in relation to bioaerosol emissions from composting facilities: a systematic review of occupational and community studies. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 18, 43-69.
- DECOS (2010). *Health Council of the Netherlands. Endotoxins. Health-based recommended occupational exposure limit*. The Hague Health Council of the Netherlands.
- Park, D.U., Ryu, S.H., Kim, S.B., Yoon, C.H. (2011). An assessment of dust, endotoxin, and microorganism exposure during waste collection and sorting. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 61, 461-468.
- Dyrektywa 2008/98/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy. Dz.U. L 312 z 22 listopada 2008 r.
- EEA Briefing 1/2008. Europejska Agencja Środowiska. Lepsza gospodarka odpadami komunalnymi zmniejszy emisje gazów cieplarnianych. Kopenhaga, http://reports.eea.europa.eu/briefing_2008_1/en/Supporting_document_to_EEA_Briefing_2008-01.pdf.
- Gust, R., Kozłowski, J., Stephenson, A.H., Schuster, D.P. (1998). Synergistic hemodynamic effects of low-dose endotoxin and acute lung injury. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 157, 1919-1926.
- Harting, J.R., Gleason, A., Romberger, D.J., Von Essen, S.G., Qiu, F., Alexis, N., Poole, J.A. (2012). Chronic obstructive pulmonary disease patients have greater systemic responsiveness to ex vivo stimulation with swine dust extracts and its components versus healthy volunteers. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 75, 1456-1470.
- Jensen, P.A., & Schafer, M.P. (1998). *Sampling and characterization of bioaerosols. NIOSH manual of analytical methods*. Atlanta: National Institute for Occupational Safety and Health.

- Jolie, R., Bäckström, L., Gunderson, P. (1998). Airborne contaminants and farmers health in swine farms with high and low prevalence of respiratory diseases in pigs. *Annals of Agriculture and Environmental Medicine*, 5, 87-92.
- Krajewski, J.A., Tarkowski, S., Cyprowski, M., Szarapinska-Kwaszewska, J., Dudkiewicz, B. (2002). Occupational exposure to organic dust associated with municipal waste collection and management. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 15, 289-301.
- Laitinen, S., Kangas, J., Husman, K., Susitaival, P. (2001). Evaluation of exposure to airborne bacterial endotoxins and peptidoglycans in selected work environments. *Annals of Agriculture and Environmental Medicine*, 8, 213-219.
- Liebers, V., Brüning, T., Raulf-Heimsoth, M. (2006). Occupational endotoxin-exposure and possible health effects on humans. *American Journal of Industrial Medicine*, 49, 474-491.
- Ławniczek-Wałczyk, A., & Górny, R.L. (2010). Endotoxins and β -glucans as markers of microbio-logical contamination – characteristics, detection, and environmental exposure. *Annals of Agriculture and Environmental Medicine*, 17, 193-208.
- Macher, J. [ed.] (1999). *Bioaerosols: Assessment and control*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati: ACGIH.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22.04.2005r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki. (DzU nr 81, poz. 716, z późn. zm.).
- Rylander, R., & Jacobs, R.R. (1994). *Organic dusts – exposure, effects and prevention*. Boca Raton, USA: CRC Press, Lewis Publisher.
- Sigsgaard, T., Bonefeld-Jorgensen, E.C., Hoffmann, H.J., Bonlokke, J., Krüger, T. (2005). Microbial cell wall agents as an occupational hazard. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 207, S310-319.
- Stagg, S., Bowry, A., Kelsey, A., Crook, B. (2010). Bioaerosol emissions from waste composting and the potential for workers' exposure. *Health and Safety Laboratory*. <http://www.hse.gov.uk/research/rpdf/tr786.pdf>
- Szadkowska-Stańczyk, I. [red.] (2007). *Zagrożenia i skutki zdrowotne narażenia na szkodliwe czynniki biologiczne pracowników zakładów gospodarki odpadami*. Łódź: IMP.
- Weber, S., Kuliman, G., Petsonk, E., Jones, W.G., Olenchock, S., Sorenson, W., Parker, J., Marcelo-Baciu, R., Frazer, D., Castranova, V. (1993). Organic dust exposures from compost handling: case presentation and respiratory exposure assessment. *American Journal of Industrial Medicine*, 24, 365-374.
- Zhiping, W., Malmberg, P., Larsson, B.M., Larsson, K., Larsson, L., Saraf, A. (1996). Exposure to bacteria in swine-house dust and acute inflammatory reactions in humans. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 154, 1261-1266.

Aerosols of Bacterial Origin in Working Rooms of Waste Management Facility

Abstract

The aim of the research was to identify aerosols of bacterial origin, including aerobic and anaerobic bacteria, peptidoglycans and endotoxins in working rooms of waste management facility, which included sorting and composting of municipal waste.

Four sampling points were located in the plant: in the pre-sorting cab, in sorting hall at conveyor belts, in the composting bunkers hall, as well as in the front of entrance gate, as a sample of external background. Air samples for the presence of bacteria were collected using a 6-stage Andersen impactor, wherein two types of microbial media were loaded: TSA agar with defibrinated sheep blood for aerobic bacteria and Schaedler's agar for anaerobic bacteria. Air samples for the presence of endotoxins and peptidoglycans were carried out using 8-stage cascade impactor, wherein the glass fiber filters were provided. Biochemical API tests were used for a detailed identification of bacteria. Determination of peptidoglycans was carried out using the SLP test (Silkworm Larvae Plasma) and endotoxin - LAL assay (*Limulus* Amebocyte Lysate).

The results of the quantitative analysis of bioaerosols at the three tested working rooms showed the following geometric mean (GM) concentrations: aerobic bacteria – 4348 cfu/m³ (geometric standard deviation, GSD = 1.14); anaerobic bacteria – 19914 cfu/m³ (GSD = 3.65); endotoxins – 173.6 ng/m³ (GSD = 2.39); peptidoglycans – 1446.6 ng/m³ (GSD = 1.21). Comparative analysis revealed statistically significant differences ($p < 0.01$) between the concentrations of aerobic bacteria in the working rooms and the external background – 551 cfu/m³. Anaerobic bacteria were the dominant group and accounted for 82% of all identified microorganisms. A total of 22 species of bacteria, belonging to 13 genera was identified in waste management facility. The greatest taxonomic diversity was observed in the sorting area (21 species), composting – 15, while in the background samples – 13 species. Among the identified species, six (*Actinomyces israelii*, *A. meyeri*, *A. naeslundii*, *Clostridium perfringens*, *Proteus vulgaris*, and *Streptomyces* spp. can be treated as potentially harmful to waste workers, as they were classified into the second risk group by the ordinance of Minister of Health from 2005.

Analysis of size distributions of bacteria showed that they occurred mostly in the form of single cells with an aerodynamic diameter in the range of 1.1-2.1 μm , and in the range of 4.7-7.0 μm , where the process of aggregation of bacterial cells with organic dust particles takes place. In the case of endotoxins

and peptidoglycans we found a gradual increase in the concentrations of particles with aerodynamic diameters in the range of 3.3-11.0 μm .

On the basis of the study it can be stated that the working rooms in waste management facility were heavily contaminated with aerosols of bacterial origin. Examination provided the pioneer results for anaerobic bacteria, which were the dominant group. Bacteria that can pose a health risk to exposed workers were also found in the air. The analysis of particle size distribution suggests that the bioaerosols observed in these rooms can accumulate in the middle and upper respiratory tract of employees, causing irritation of the nose and throat.

Słowa kluczowe:

zakład gospodarki odpadami, bakterie, peptydoglikany, endotoksyny, rozkłady ziarnowe

Keywords:

waste management facility, airborne bacteria, peptidoglycans, endotoxins, size distribution