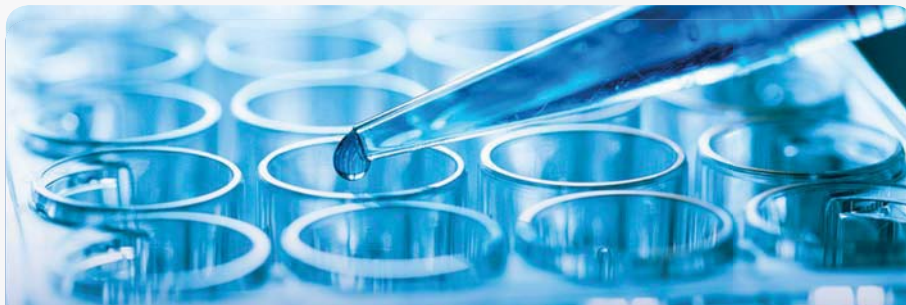


dr n. med. MARCIN CYPROWSKI
 dr n. tech. ANNA ŁAWNICZEK-WAŁCZYK
 dr n. tech. MAŁGORZATA GOŁOFIT-SZYMCZAK
 mgr inż. AGATA STOBNIKA
 dr hab. n. med. RAFAŁ L. GÓRNY, prof. ndzw. CIOP-PIB
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: macyp@ciop.pl

Markery mikrobiologicznego zanieczyszczenia środowiska pracy przy zagospodarowaniu odpadów komunalnych



Fot. trans961 / Bigstockphoto

Praca omawia problem narażenia na endotoksyny, peptydoglikany i (1→3)-β-D-glukany na stanowiskach pracy przy zagospodarowaniu odpadów komunalnych. Te immunoreaktywne związki pochodzenia mikrobiologicznego są uznawane za markery zanieczyszczenia środowiska pracy przez bakterie i grzyby. Przedstawiono krótką charakterystykę tych związków, ich pochodzenie, sposoby rozprzestrzeniania się, zalecane metody analityczne konieczne do ich identyfikacji oraz kryteria oceny higienicznej. W analizie piśmiennictwa opisano stwierdzone w różnych badaniach zakresy stężeń, które wykazują dużą zmienność w zależności od typu procesu technologicznego. Najwyższe stężenia endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów najczęściej mogą być obserwowane podczas zbierania i kompostowania odpadów komunalnych, gdzie ma miejsce największa emisja pyłu organicznego. Wskazano na niedostatek danych dotyczących narażenia na peptydoglikany. Ponadto scharakteryzowano najpowszechniejsze skutki zdrowotne wynikające z narażenia na opisywane czynniki, a także możliwe do zastosowania środki zapobiegawcze.

Słowa kluczowe: zagospodarowanie odpadów, zanieczyszczenie mikrobiologiczne, endotoksyny, peptydoglikany, (1→3)-β-D-glukany

Markers of microbial contamination of the work environment at the municipal waste management

The paper discusses the problem of exposure to endotoxins, peptidoglycans and (1→3)-β-D-glucans at workplaces in municipal waste management. All these immunoreactive compounds are considered to be markers of microbial contamination in working environment. The article presents brief characteristics of these compounds, their origin, methods of dissemination in the environment, recommended analytical methods used for their qualitative and quantitative assessment. Analysis of the scientific literature showed that their concentration ranges in occupational environment varies substantially depending on the type of technological processes. The highest concentrations of endotoxins and (1→3)-β-D-glucans are usually observed during the collection and composting of municipal waste, i.e. are related to the tasks with a high emission of organic dust. The data on exposure to peptidoglycans are still extremely scarce. The most prevalent health effects of exposure to endotoxins, peptidoglycans and (1→3)-β-D-glucans as well as preventive measures applied to protect workers' health are also discussed in the paper.

Keywords: waste management, microbial contamination, endotoxins, peptidoglycans, (1→3)-β-D-glucans

Wstęp

Ocena ilościowa i jakościowa szkodliwych czynników biologicznych w środowisku pracy jest bardzo ważnym elementem oceny narażenia, zatem i oceny ryzyka zdrowotnego pracowników różnych grup zawodowych. W praktyce, w odniesieniu do bakterii i grzybów, ocena ta odbywa się najczęściej z wykorzystaniem klasycznych metod hodowlanych,

które charakteryzują stosunkowo niskie koszty i akceptowalną dokładność. Uwzględniając warunki pomiaru, dzięki nim możemy oceniać stężenia tych drobnoustrojów w powietrzu, czy na badanych powierzchniach, a także poznać ich skład gatunkowy.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z 22.04.2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy

oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki [1] ocena jakościowa jest niezbędna do wykonania właściwej oceny ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na czynniki biologiczne. Wspomniane metody charakteryzują się niestety ograniczeniami, wśród których na pierwszym miejscu wymienić należy możliwość oceny jedynie tych mikroorganizmów, które są zdolne do wzrostu i rozmnażania się. Takie podejście pozwala rozpoznać jedynie kilka procent drobnoustrojów – pomijane są te pozbawione możliwości rozmnażania się oraz różnej wielkości fragmenty ścian komórkowych bakterii i grzybów, które także mogą oddziaływać na zdrowie człowieka na skutek pobudzania układu immunologicznego.

Do najważniejszych związków pochodzenia mikrobiologicznego zaliczane są endotoksyny bakteryjne, peptydoglikany i (1→3)-β-D-glukany, których występowanie w przyrodzie jest charakterystyczne dla określonych grup drobnoustrojów, odpowiednio: bakterii Gram-ujemnych, bakterii ogółem oraz grzybów. Cecha ta sprawia, że można je traktować jako swoiste markery obecności tych mikroorganizmów, które mogą być wykorzystywane zarówno w badaniach środowiskowych, jak i przy ocenie higienicznej różnych środowisk pracy [2].

W niniejszej publikacji przedstawiono możliwości wykorzystania endotoksyn, peptydoglikanów oraz (1→3)-β-D-glukanów przy ocenie higienicznej stanowisk pracy związanych z zagospodarowaniem odpadów komunalnych.

Charakterystyka głównych markerów narażenia na mikroorganizmy

Do wykorzystania w praktyce markerów mikrobiologicznego zanieczyszczenia środowiska pracy konieczne jest poznanie ich podstawowych właściwości, które mogą być istotne podczas interpretacji wyników. W tabeli 1. przedstawiono krótką charakterystykę omawianych w tekście markerów narażenia.

Endotoksyny

Liczne badania naukowe prowadzone na przestrzeni ok. 30 lat pozwoliły stwierdzić, iż endotoksyny są bardzo ważnym czynnikiem narażenia pracowników różnych branż – ze względu na skutki zdrowotne

Tabela 1. Podstawowa charakterystyka markerów narażenia na mikroorganizmy [2]

Table 1. Basic characteristics of the markers of exposure to micro-organisms [2]

Grupa mikroorganizmów	Marker narażenia	Metoda oznaczenia
Bakterie Gram-ujemne	Endotoksyny	LAL, GCMS
Wszystkie bakterie: Gram-dodatnie (zawartość 40-80%) Gram-ujemne (zawartość 10-25%)	Peptydoglikany	SLP, GCMS
Grzyby	(1→3)-β-D-glukany	LAL, ELISA

LAL – test *Limulus* Amebocyte Lysate
GCMS – chromatografia gazowa sprzężona z spektrometrią mas
SLP – test silkworm larvae plasma
ELISA – test immunoenzymatyczny

Tabela 2. Wartości stężeń markerów narażenia na mikroorganizmy przy pracach związanych z zagospodarowaniem odpadów komunalnych

Table 2. Characteristics of the markers of exposure to micro-organisms in waste management

Proces technologiczny	Endotoksyny [JE/m ³]	Peptydoglikany [ng/m ³]	(1→3)-β-D-glukany [ng/m ³]	Piśmiennictwo
Zbieranie odpadów	4-180	b.d.	3-220	[10]
	4-7182	b.d.	260-30800	[11]
	4,5-76,5	b.d.	1,3-34,1	[12]
	8,1-980	b.d.	b.d.	[13]
Sortowanie odpadów	16,7-1782	b.d.	7,4-137	[14]
	45-207	b.d.	b.d.	[13]
	8,1-12600	800-6269	b.d.	[15]
Kompostowanie odpadów	7-5965	b.d.	150-53230	[16]
	82-2916	b.d.	b.d.	[13]
	b.d.	b.d.	1,4-65,1	[17]
	0,8-22656	b.d.	0,01-266	[18]
Spalanie odpadów	1,7-59000	b.d.	b.d.	[19]
Składowanie odpadów	8,1-1350	b.d.	b.d.	[13]

b.d. – brak danych

przez nie wywoływane [3-5]. Sprawilo to, iż w wielu badaniach zostały uznane za obiektywne wskaźniki narażenia na bakterie Gram-ujemne. Strukturalnie endotoksyny są makrocząsteczkami o masie cząsteczkowej od kilku do kilkudziesięciu megadaltonów, powstałymi przez polimeryzację mniejszych jednostek lipopolisacharydów (LPS) z białkami i fosfolipidami ściany komórkowej (heteropolimery).

Endotoksyny uwalniają się łatwo do środowiska poprzez fragmentację ściany komórkowej (która odłącza się w postaci sferycznych cząstek mierzących średnio 30-50 nm), lub wraz z rozpadem (obumarciem) komórki bakteryjnej. Odnznaczają się wyjątkowo długą trwałością struktury w środowisku oraz termostabilnością (ich zniszczenie następuje po 4-godzinnym wystawieniu na działanie temperatury 180 °C). Te właściwości umożliwiają przeprowadzanie oceny narażenia na endotoksyny poszczególnych pracowników w czasie całej zmiany roboczej, co jest znacznie utrudnione w przypadku wrażliwych na wysuszenie, żywych bakterii.

Do oceny stężeń endotoksyn bakteryjnych stosuje się przede wszystkim test LAL (*Limulus* Amebocyte Lysate), który występuje w licznych odmianach (metoda żelowa, turbidymetryczna, end-point, kinetyczna) i odnacza się dużą czułością. Część badaczy korzysta także z alternatywnej metody, polegającej na analizie kwasów tłuszczowych 3-hydroksylowych, chemicznych markerów LPS za pomocą chromatografii gazowej sprzężonej z spektrometrią mas (GCMS). Aby zredukować niepewności związane z szacowaniem narażenia różnymi metodami opublikowano, przyjętą także przez Polskę, normę europejską PN-EN 14031 (2006) pt. „Powietrze na stanowiskach pracy – Oznaczenie zawieszonych w powietrzu endotoksyn” [6].

Norma ta określa zalecane techniki pobierania prób, ich transportu oraz analizy z wykorzystaniem testu LAL w wersji kinetycznej chromogennej. Stopień zanieczyszczenia powietrza endotoksynami bakteryjnymi wyrażany jest ng/m³ lub w jednostkach JE/m³ (JE – „jednostka endotoksyczna”; stężenie endotoksyny w próbkach odnosi się do zdefiniowanego referencyjnego standardu endotoksyny (RSE) i wyrażane jest w jednostkach opartych na aktywności materiału referencyjnego w teście LAL). Średnio przyjmuje się przelicznik 10 JE ≈ 1 ng. Należy jednak zaznaczyć, że aktywność endotoksyn może różnić się między gatunkami bakterii, co może być istotne przy ocenie skutków zdrowotnych [3].

Peptydoglikany

Wykorzystanie peptydoglikanów jako markera narażenia nie jest jeszcze tak rozpowszechnione jak w przypadku endotoksyn. Peptydoglikany są ważnym składnikiem ściany komórkowej bakterii, zbudowane z biopolimeru kwasu muraminowego i N-acetyloglukozaminy, połączonych wiązaniami β-(1→4)-glikozydowymi oraz pentapeptydu. Ocenia się, że u bakterii Gram-dodatnich peptydoglikany stanowią ok. 70% całej ściany komórkowej, zaś u Gram-ujemnych ok. 25% [2].

Ocena ilościowa peptydoglikanów może być prowadzona z wykorzystaniem dwóch metod. Pierwsza polega na wykrywaniu metodą analizy chromatograficznej kwasu muraminowego, jest jednak droga i wymaga dokładnego przygotowania próbki. Druga metoda polega na zastosowaniu testu SLP (silkworm larvae plasma test) bazującego na analizie spektrofotometrycznej (przy długości fali świetlnej 650 nm) zawartości melaniny powstałej w wyniku reakcji kaskadowej. Metoda ta jest szybka,

dużo mniej kosztowna, o wysokiej specyficzności i efektywności na poziomie ok. 90% [7]. Stopień zanieczyszczenia powietrza peptydoglikanami wyrażany jest w ng/m³.

(1→3)-β-D-glukany

Glukany są naturalnymi polisacharydami szeroko rozpowszechnionymi w przyrodzie, między innymi występują w ścianach komórkowych roślin, glonów, pleśni i drożdży (z wyłączeniem klasy *Zygomycetes* oraz rodzaju *Cryptococcus*) oraz bakterii rodzajów *Alcaligenes*, *Agrobacterium* i *Rhizobium*. Glukany zbudowane są z liniowego (1→3) szkieletu oraz części D-glukopiranozylowych, które często połączone są do gałęzi bocznych, najczęściej (1→6) oraz (1→4), które różnią się długością i przestrzennym rozmieszczeniem. Całkowita masa cząsteczki glukanu, rozmieszczenie i rodzaj gałęzi bocznych oraz ich zdolność do rozpuszczania się mają ważny wpływ na biologiczną aktywność tych związków [2].

Ocena ilościowa (1→3)-β-D-glukanów może być prowadzona na podstawie dwóch metod: testu immunoenzymatycznego ELISA i testu LAL. W metodzie ELISA używa się receptora (galaktozyloceramidu) o wysokim powinowactwie do (1→3)-β-D-glukanów oraz przeciwciał monoklonalnych specyficznych dla β-glukanów ściany komórkowej grzybów. W drugiej wykorzystuje się test enzymatyczny LAL zawierający specyficzny dla glukanów czynnik G, który mierzy poziom zawartości (1→3)-β-D-glukanów. Jak wykazała Iossifova i wsp. [8] obie metody cechuje odmienny poziom oznaczalności, który dla metody LAL wynosi 3,125 pg/ml, zaś dla metody ELISA 250 ng/ml. Stopień zanieczyszczenia powietrza (1→3)-β-D-glukanami wyrażany jest zwykle w ng/m³.

Markery mikrobiologicznego zanieczyszczenia a odpady komunalne

Praca przy zagospodarowaniu odpadów komunalnych jest jedną z tych działalności zawodowych człowieka, gdzie narażenie na szkodliwe czynniki biologiczne należy do najwyższych. Jak wykazała Szadkowska-Stańczyk [9], na różnych etapach tego procesu można zidentyfikować po kilkadziesiąt gatunków bakterii i grzybów, z czego znaczna część to drobnoustroje potencjalnie chorobotwórcze dla człowieka. Fakt ten w pełni uzasadnia poszukiwanie markerów mikrobiologicznego zanieczyszczenia tego środowiska pracy.

Główną drogą przenoszenia endotoksyn, (1→3)-β-D-glukanów, czy peptydoglikanów jest powietrze i zawieszony w nim aerozol składający się z cząstek pyłu organicznego. Dotychczasowe badania potwierdzają występowanie w powietrzu na stanowiskach pracy wszystkich trzech wymienionych immunoreaktywnych związków pochodzenia mikrobiologicznego.

Wartości stężeń markerów narażenia na mikroorganizmy w różnych środowiskach pracy związanych z zagospodarowaniem odpadów komunalnych badań przedstawiono w tabeli 2.

Jak widać w tabeli, stężenia markerów narażenia charakteryzują się znaczną zmiennością. Najwyższe stężenia, szczególnie endotoksyn, towarzyszą zwykle procesom kompostowania oraz zbierania odpadów komunalnych. Wynika to z obecności w tych miejscach pracy wysokich stężeń pyłu organicznego, który jest źródłem składników pokarmowych dla mikroorganizmów [16,18]. Ponadto w procesie tworzenia humusu z odpadów organicznych w mia-

rę upływu czasu można zaobserwować wzrost wilgotności i temperatury kompostu. Dzięki temu w kompostowniach widoczna jest sukcesja mikroorganizmów, w tym następcza dominacja określonych gatunków i grup bakterii, z czego znaczną część stanowią bakterie Gram-ujemne, będące źródłem endotoksyn [9]. W środowisku pracy związanym z zagospodarowaniem odpadów występują stosunkowo wysokie stężenia (1→3)-β-D-glukanów.

W większości przywołanych w tabeli 2. publikacji przedstawiane jest narażenie na endotoksyny, zaś ocena narażenia na peptydoglikany była, jak do tej pory, prowadzona bardzo rzadko. Sytuacja ta ma szansę ulec zmianie w wyniku realizacji w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym projektu badawczego, którego zamierzeniem jest ocena narażenia i skutków zdrowotnych na peptydoglikany przy zagospodarowywaniu odpadów (projekt realizowany jest w ramach III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”).

Skutki zdrowotne narażenia na markery mikrobiologicznego zanieczyszczenia środowiska pracy

Jak wspomniano we wstępie, endotoksyny, (1→3)-β-D-glukany, czy peptydoglikany charakteryzują się przede wszystkim oddziaływaniem immunotoksycznym na układ oddechowy człowieka. W wyniku badań opisujących zależności typu „dawka-odpowiedź”, udało się dotychczas określić bezpieczne poziomy narażenia jedynie dla endotoksyn. Między innymi Komitet ds. Pyłu Organicznego ICOH w swoich wytycznych [20] przedstawił uzasadnienie wykorzystania endotoksyn do pomiarów narażenia, jako miary narażenia zawodowego na pył pochodzenia organicznego. I tak: wartość dla narażenia niewywołującego efektu (*no effect level* – NOEL): zapalenia dróg oddechowych – 100 JE/m³, dla efektów systemowych 1000 JE/m³ oraz dla toksycznego zapalenia płuc 2000 JE/m³. Także w Polsce staraniem Zespołu Ekspertów ds. Czynniki Biologicznych, Międzyresortowa Komisja ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynniki Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy przyjęła zalecaną wartość dopuszczalnego stężenia dla endotoksyn na poziomie 2000 JE/m³ [21].

Jak można zauważyć w tabeli 2., narażenie na endotoksyny osób pracujących przy zagospodarowaniu odpadów jest dosyć zmienne, a stężenia często przekraczają poziom 2000 JE/m³, z którym związane jest występowanie toksycznego zapalenia płuc. Endotoksyny uważane są za główny czynnik etiologiczny toksycznego syndromu wywołanego pyłem organicznym (ODTS), charakteryzującego się występowaniem objawów grypopochodnych (ból głowy, dreszczy, podwyższonej temperatury), które najczęściej mają charakter odwracalny, to znaczy ustępują po ustaniu narażenia. Ma to związek z pobudzeniem mediatorów prozapalnych (interleukin) takich jak: IL-1, IL-6, IL-8, czy TNF-α.

Obok wymienionych objawów grypopochodnych, z narażeniem na endotoksyny najczęściej wiąże się występowanie zaburzeń w funkcjonowaniu układu oddechowego, co ma odzwierciedlenie w obniżeniu wartości parametrów spirometrycznych, w tym przede wszystkim FEV₁. Podobnym oddziaływaniem na zdrowie charakteryzują się także (1→3)-β-D-glukany, które przy pobudzeniu mediatorów prozapalnych mogą wykazywać działanie synergistyczne wraz z endotoksynami. W skrajnych

przypadkach narażenie na oba te immunoreaktywne reaktywne związki może doprowadzić do uszkodzenia mięszu płucnego, objawiającego się występowaniem u narażonych osób hipoksemii, czyli obniżenia ciśnienia parcjalnego tlenu [9].

Ocena obserwowanych stężeń (1→3)-β-D-glukanów i peptydoglikanów jest, jak na razie, utrudniona ze względu na brak ustalenia dopuszczalnych stężeń. Wyniki badań, w których próbuje się określić maksymalne akceptowalne stężenia, są niezwykle rzadkie w dostępnym piśmiennictwie przedmiotu. Uważa się, że stężenia (1→3)-β-D-glukanów powyżej 12 ng/m³ mogą powodować istotnie częstsze pojawianie się takich dolegliwości, jak kaszel z flegmą, chrypa, ucisk w klatce piersiowej, a także problemów żołądkowych [14]. Przyjmuje się również, że peptydoglikany odgrywają znaczącą rolę w patogenezie złożonych infekcji bakteryjnych wzmacniając biologiczne działanie endotoksyn [22].

Podsumowanie

Prezentowane w publikacji podstawowe dane dotyczące markerów mikrobiologicznego zanieczyszczenia środowiska pracy wskazują, iż działanie czynników biologicznych ma bardzo złożony charakter i nie można go ograniczać jedynie do infekcyjnych właściwości drobnoustrojów. Uwzględnienie w procesie oceny ryzyka zawodowego immunoreaktywnych elementów ściany komórkowej bakterii i grzybów, jakimi są endotoksyny, peptydoglikany oraz (1→3)-β-D-glukany powinno stać się standardowym postępowaniem służby bhp w zakładach pracy, gdzie może mieć miejsce narażenie na czynniki biologiczne. Należy pamiętać, że pomiary tych związków na stanowiskach pracy należą do stosunkowo prostych, a wynik można uzyskać w krótszym czasie, niż np. przy standardowej identyfikacji drobnoustrojów.

W celu ograniczenia narażenia na opisane wcześniej immunoreaktywne związki pochodzenia mikrobiologicznego wymagane jest stosowanie podobnych środków zapobiegawczych i ochronnych, jak dla drobnoustrojów z grupy 2. zagrożenia wg rozporządzenia Ministra Zdrowia z 22.04.2005 r. Zatem wszelkie starania techniczne mające na celu ograniczenie zapylenia na przykład w procesach kompostowania, czy zainstalowanie efektywnej instalacji wentylacyjnej na liniach sortowniczych powinny przyczynić się do zmniejszenia narażenia na te czynniki. Bezpośrednie zabezpieczenie pracowników powinno w tym przypadku być skoncentrowane na ochronie dróg oddechowych (sugerowane jest używanie masek ochronnych typu FFP2).

PIŚMIENNICTWO

- [1] 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. DzU z 2005 r. nr 81, poz. 716, ze zm.
- [2] Sigsgaard T., Bonefeld-Jørgensen E.C., Hoffmann H.J., Bonlökke J., Krüger T. *Microbial cell wall agents as an occupational hazard*. „Toxicology and Applied Pharmacology” 2005,207:S310-319
- [3] Ławniczek-Wałczyk A., Górny R.L. *Endotoxins and β-glucans as markers of microbiological contamination – characteristics, detection, and environmental exposure*. „Annals of Agriculture and Environmental Medicine” 2010,17:193-208
- [4] Cyprowski M. *Zanieczyszczenia mikrobiologiczne cieczy obróbkowych*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2012,9:16-19

[5] Golofit-Szymczak M., Ławniczek-Wałczyk A., Górny R.L. *Bioaerozole w pomieszczeniach pracy – źródła i zagrożenia*. „Bezpieczeństwo Pracy” 2013,3:9-11

[6] PN-EN 14031:2006 *Powietrze na stanowiskach pracy – Oznaczanie endotoksyn zawieszonych w powietrzu*

[7] Kobayashi T., Tani T., Yokota T., Kodama M. *Detection of peptidoglycan in human plasma using the silkworm larvae plasma test*. „FEMS Immunology and Medical Microbiology” 2000,28:49-53

[8] Iossifova Y., Reponen T., Daines M., Levin L., Hershey G.K.K. *Comparison of two analytical methods for detecting Y. (1-3)-β-D-glucan in pure fungal cultures and in house dust samples*. „The Open Allergy Journal” 2008,1:26-34

[9] Szadkowska-Stańczyk I. (red.) *Zagrożenia i skutki zdrowotne narażenia na szkodliwe czynniki biologiczne pracowników zakładów gospodarki odpadami*. IMP, Łódź 2007

[10] Haldal K.K., Halstensen A.S., Thorn J., Djupesland P., Wouters I., Eduard W., Halstensen T.S. *Upper airway inflammation in waste handlers exposed to bioaerosols*. „Occupational and Environmental Medicine” 2003,60:444-450

[11] Wouters I.M., Hilhorst S.K.M., Kleppe P., Doekes G., Douwes J., Peretz C., Heederik D. *Upper airway inflammation and respiratory symptoms in domestic waste collectors*. „Occupational and Environmental Medicine” 2002,59:106-112

[12] Thorn J. *Seasonal variations in exposure to microbial cell wall components among household waste collectors*. „Annals of Occupational Hygiene” 2001, 45 (2): 153-156

[13] Krajewski J.A., Tarkowski S., Cyprowski M., Szarapińska-Kwaszewska J., Dudkiewicz B. *Occupational exposure to organic dust associated with municipal waste collection and management*. „International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health” 2002,15, 3: 289-301

[14] Gladding T., Thorn J., Stott D. *Organic dust exposure and work-related effects among recycling workers*. „American Journal of Industrial Medicine” 2003,43:584-591

[15] Laitinen S., Kangas J., Husman K., Susitaival P. *Evaluation of exposure to airborne bacterial endotoxins and peptidoglycans in selected work environments*. „Annals of Agriculture and Environmental Medicine” 2001,8:213-219

[16] Douwes J., Wouters I., Dubbeld H., van Zwieten L., Steerenberg P., Doekes G., Heederik D. *Upper airway inflammation assessed by nasal lavage in compost workers: a relations with bio-aerosol exposure*. „American Journal of Industrial Medicine” 2000,37:459-468

[17] Cyprowski M., Sowiak M., Szadkowska-Stańczyk I. *β (1→3)-glucan aerosol in different occupational environments*. „Aerobiologia” 2011,27:345-351

[18] Sykes P., Morris R.H.K., Allen J.A., Wildsmith J.D., Jones K.P. *Workers' exposure to dust, endotoxin and β (1→3)-glucan at four large-scale composting facilities*. „Waste Management” 2011,31:423-430

[19] Tolvanen O.K., Hänninen K.I. *Occupational hygiene in a waste incineration plant*. „Waste Management” 2005,25:519-529

[20] Rylander R. *Endotoxins in the environment – A criteria document*. „International Journal of Occupational and Environmental Health” 1997,3:1-48

[21] Augustyńska D., Pośniak M. *Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne 2012*. CIOP, Warszawa 2012

[22] Myhre A.E., Aasen A.O., Thiemermann C., Wang J.E. *Peptidoglycan – an endotoxin in its own right? „Shock” 2006,25 (3): 227-235*

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.