Marcin Cyprowski[1]
Jadwiga Szarapińska-Kwaszewska[2]
Bożena Dudkiewicz[2]
Jan A. Krajewski[1]
Irena Szadkowska-Stańczyk[1]

OCENA NARAŻENIA PRACOWNIKÓW OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW NA CZYNNIKI SZKODLIWE WYSTĘPUJĄCE W MIEJSCU PRACY

EXPOSURE ASSESMENT TO HARMFUL AGENTS IN WORKPLACES IN SEWAGE PLANT WORKERS

[1] Z Zakładu Środowiskowych Zagrożeń Zdrowia
Instytutu Medycyny Pracy im. prof. *J. Nofera* w Łodzi
[2] Z Zakładu Mikrobiologii Farmaceutycznej
Uniwersytetu Medycznego w Łodzi

Streszczenie

Wstęp. Celem pracy było określenie wielkości narażenia na czynniki biologiczne i chemiczne w oczyszczalni ścieków komunalnych. **Materiał i metody.** Pomiary przeprowadzono na porannej zmianie roboczej w okresie letnim i zimowym. W badaniach uczestniczyło 99 pracowników oczyszczalni ścieków, których podzielono na cztery podgrupy zawodowe: pracownicy mechanicznej oczyszczalni; biologicznej oczyszczalni; przerobu osadu ściekowego; utrzymania ruchu. Oceniono narażenie na H_2S, SO_2, Pb, Cd, Cr^{3+} i Cr^{6+}, endotoksyny i (1→3)-β-D glukany oraz drobnoustroje ze szczególnym uwzględnieniem pałeczek Gram-ujemnych. **Wyniki.** Stężenia pyłu i zawartych w nim metali ciężkich oraz stężenia gazów na wszystkich badanych stanowiskach pracy nie przekraczały NDS obowiązujących w Polsce. Stężenia endotoksyn oraz (1→3)-β-D glukanów wykazywały dużą zmienność – endotoksyn w granicach od 0,08 do 223 ng/m^3, natomiast glukanów od 0,00 do 163 ng/m^3. Najwyższe stężenia endotoksyn oznaczono w okresie letnim u pracowników z podgrupy przerobu osadu ściekowego (wartość średnia = 37 ng/m^3). Stężenia w okresie zimowym były blisko 10-krotnie niższe. Ponad 60% wszystkich uzyskanych wyników przekraczało proponowaną wartość referencyjną dla endotoksyn w powietrzu – 10 ng/m^3. Stężenia bakterii w powietrzu na terenie oczyszczalni były na niskich poziomach (10^2 cfu/m^3) z wyjątkiem lagun osadowych oraz budynku zagęszczania osadów, gdzie przekroczyły one proponowaną wartość referencyjną dla bakterii mezofilnych – 10^5 cfu/m^3. W próbach dominowały bakterie typowo „środowiskowe" (*Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Shewanella*), a także paciorkowce z rodzaju *Enterococcus* oraz pałeczki jelitowe (rodzina *Enterobacteriaceae*) uznawane za wskaźniki higienicznej czystości powietrza. **Wnioski.** Badania wykazały, że stopień narażenia na czynniki biologiczne jest różny w zależności od etapu procesu oczyszczania ścieków. Proces zagospodarowywania osadów ściekowych charakteryzował się najwyższą emisją bioaerozoli. Wszystkie oznaczone drobnoustroje należały do 2. grupy ryzyka zawodowego wg rozporządzenia Ministra Zdrowia. Med. Pr., 2005;56(3):213–222

Słowa kluczowe: oczyszczalnia ścieków, narażenie zawodowe, bioaerozole, endotoksyny, (1→3)-β-D glukany

Abstract

Background: The purpose of the study was to evaluate exposure to biological and chemical agents in a sewage treatment plant. **Materials and Methods:** Sampling was carried out in the summer and wintertime at the morning workshift. Ninety-nine sewage workers taking part in the study were divided into four occupational subgroups: mechanical treatment, biological treatment, sewage sludge treatment, and operation control workers. Exposure to: H_2S, SO_2, Pb, Cd, Cr^{3+}, Cr^{6+}, endotoxins, (1→3)-β-D glucans, and microorganisms was evaluated with special identification of Gram-negative rods. **Results:** The concentrations of dust containing heavy metals and concentrations of gases from all stations did not exceed MAC values. Concentrations of endotoxins ranged from 0.08 to 223 ng/m^3, and glucans from 0.00 to 163 ng/m^3. The highest concentrations were found among sewage sludge treatment workers, in the summertime (geometric mean value = 37 ng/m^3). In the winter, concentrations were almost ten times lower. Over sixty percent of all results exceeded the proposed reference value for airborne endotoxins (10 ng/m^3). Concentrations of airborne bacteria in the sewage plant were at low level (10^2 cfu/m^3), except the sludge lagoon and sludge concentration building, where the results exceeded the proposed reference value for mesophilic bacteria (10^5 cfu/m^3) "Environmental" bacteria (*Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Shewanella*) predominated in the samples. There were also found enterobacteria genus (*Enterococcus*, family *Enterobacteriaceae*) – good indicators of hygienic cleanliness of the air. **Conclusions:** The study proved that the exposure varied and depended on the stage of sewage treatment. The sewage sludge treatment process was characterized by the highest emission of bioaerosols. All microorganisms found in the sewage plant belong to the second occupational risk group, under the ordinance of the Ministry of Health. Med Pr 2005;56(3):213–222

Key words: sewage treatment plant, occupational exposure, bioaerosols, endotoxins, (1→ 3)-β-D glucans

Adres 1. autora: św. Teresy 8, 90-950 Łódź, e-mail: marc@imp.lodz.pl
Nadesłano: 23.05.2005
Zatwierdzono: 6.06.2005
© 2005, Instytut Medycyny Pracy im. prof. *J. Nofera* w Łodzi

* Praca wykonana w ramach projektu badawczego „grantu" finansowanego przez KBN nr PB 0326/PO5/2002/23 pt. „Ocena narażenia pracowników oczyszczalni ścieków na czynniki szkodliwe występujące w środowisku pracy". Kierownik projektu: dr *J.A. Krajewski.*

WSTĘP

W ciągu ostatnich dziesięciu lat obserwuje się wzrost zainteresowania problemami narażenia pracowników oczyszczalni ścieków na czynniki biologiczne szkodliwe dla zdrowia, występujące w środowisku pracy. Rozporządzenie Ministra Zdrowia (1) w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki, które wciela w życie zapisy Dyrektywy 54/2000 Unii Europejskiej (2) o czynnikach biologicznych w środowisku pracy, dotyczy m.in. tych zagadnień.

Pracownicy oczyszczalni ścieków narażeni są na działanie różnych czynników chemicznych i biologicznych. Stopień narażenia jest różny w zależności od etapu procesu oczyszczania ścieków. Badacze podają wiele przykładów substancji stwarzających zagrożenie dla zdrowia. Są to lotne substancje organiczne (3–5), metale ciężkie (6–8) oraz związki organiczne nielotne, m.in. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (7–9), polichlorowane bifenyle (7,8,10), dioksyny (7,8). Wśród czynników biologicznych wymienia się bakterie (11–20), grzyby (16–18), wirusy (6,21), pierwotniaki (6) oraz pył organiczny pochodzenia drobnoustrojowego, w którym m.in. występują endotoksyny i glukany (6,11,13,15,18,20,22,23).

Do najczęściej wymienianych chorób wynikających z narażenia na czynniki szkodliwe, zawarte w ściekach, zalicza się zapalenie pęcherzyków płucnych na tle alergicznym (6,14), nieżyt błon śluzowych nosa i gardła, zapalenie spojówek (24), biegunki oraz inne infekcje układu pokarmowego (24), a także uszkodzenia centralnego układu nerwowego (25). Pracownicy zatrudnieni w oczyszczalniach ścieków często skarżą się na złe samopoczucie, kaszel oraz trudności w oddychaniu (6,12–14,22,23). W Polsce przez długi czas w pracach badawczych koncentrowano się przede wszystkim na analizie wpływu obiektów oczyszczalni ścieków na środowisko (16,17,19), w zasadzie pomijając aspekt narażenia zawodowego zatrudnionych w nich pracowników. Dopiero w ciągu ostatnich 3 lat zaczęto bliżej przyglądać się temu zagadnieniu (6,18,20,22). Badania przeprowadzone w Pracowni Zagrożeń Biologicznych Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi pozwoliły uzyskać dane na temat warunków pracy w oczyszczalni ścieków, występujących tam czynników szkodliwych oraz skutków zdrowotnych wynikających z narażenia. Część wyników dotyczących subiektywnego postrzegania swojego stanu zdrowia przez pracowników omówiono już w wydanej publikacji (22).

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w Grupowej Oczyszczalni Ścieków (GOŚ) w Łodzi o przepustowości w biologicznej części oczyszczania ścieków ponad 170 000 m^3/dobę. Oczyszczalnia ta funkcjonuje w oparciu o metodę mechanicznego i biologicznego oczyszczania ścieków.

Badaniem objęto 99 osób pracujących przy obsłudze ciągu technologicznego. Z uwagi na wielkość GOŚ możliwe było dokonanie podziału na cztery podgrupy zawodowe, tj. pracowników mechanicznej (MOS) i biologicznej (BOS) części oczyszczania ścieków, pracowników zajmujących się przeróbką osadów ściekowych (POS) oraz pracowników ekip remontowych (INNE).

Strategia pobierania prób

Z punktu widzenia higieny przemysłowej największe znaczenie mają czynniki biologiczne przenoszone drogą powietrzną, czyli bioaerozole. Ocenę narażenia pracowników na czynniki biologiczne zdecydowano się przeprowadzić przede wszystkim w oparciu o pomiary stężeń endotoksyn bakteryjnych oraz (1→3)-β-D glukanów.

Próby bioaerozoli pobierano za pomocą pompek indywidualnych, które pracownik nosił na sobie w ciągu zmiany roboczej przez około 6 h. Pompki SKC i Casella były każdorazowo przed pomiarem ustawiane na przepływ 2 l/min. W głowicach montowano filtry z włókien szklanych Whatman GF/F o średnicy Φ = 25 mm. Po każdym zakończeniu pobierania prób filtry z zebranym materiałem były przenoszone do jałowych kasetek, przewożone do Instytutu i przechowywane w zamrażarce w stałej temperaturze -20°C. Dopiero po zebraniu całego materiału dokonywano oznaczeń endotoksyn i glukanów. Aby przeanalizować sezonową zmienność rozmiarów narażenia na czynniki biologiczne, próby powietrza pobierano w dwóch okresach – letnim (czerwiec) oraz zimowym (styczeń, luty).

W celu zbadania mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza w trakcie badań wyznaczono również stanowiska stacjonarne. Opisane wyżej zestawy pomiarowe rozmieszczono w oczyszczalni ścieków w różnych punktach procesu technologicznego. Próby pobrane w celu przeprowadzenia oznaczeń przekładano do zakręcanych pojemniczków z podłożem transportowym Amiesa i przewożono bezpośrednio do Zakładu Mikrobiologii Farmaceutycznej Uniwersytetu Medycznego w Łodzi.

Dla uzyskania pełniejszego obrazu zagrożeń czynnikami biologicznymi w oczyszczalni ścieków do analizy mikrobiologicznej pobrano także 3 próby ścieków – przy głównym kolektorze doprowadzającym ścieki do oczyszczalni, przy wypływie z osadników wstępnych oraz przy wypływie z oczyszczalni.

Oznaczanie stężeń endotoksyn i glukanów

Próby bioaerozoli przekazano do Instytutu Mikrobiologii i Wirusologii Polskiej Akademii Nauk w Łodzi, gdzie przeprowadzono oznaczenia stężeń endotoksyn i glukanów. Do oznaczeń użyto ilościowego testu chromogennego LAL QCL-1000 (BioWhittaker) – metoda „end-point". Szczegółowy opis zastosowanej metody i używanych odczynników przedstawiono w publikacji Krajewski i wsp. (22).

Analiza mikrobiologiczna prób

Badania dotyczyły oznaczenia liczby żywych drobnoustrojów (bakterii mezofilnych, psychrofilnych oraz grzybów) w bioaerozolach, oraz próbach ścieków poddawanych oczyszczaniu. Przeprowadzono również identyfikację bakterii mezofilnych i psychrofilnych, ze szczególnym uwzględnieniem obecności w badanych bioaerozolach bakterii pochodzenia ściekowego, a więc paciorkowców kałowych (*Enterococcus faecalis* i *Enterococcus faecium*), pałeczek jelitowych z rodziny *Enterobacteriaceae* oraz pałeczek Gram-ujemnych oksydazo-dodatnich (*Pseudomonas* i pokrewnych rodzajów). W obrębie rodziny *Enterobacteriaceae* przeprowadzono identyfikację do gatunku, a w obrębie rodzaju *Pseudomonas* identyfikowano gatunek *Pseudomonas fluorescens*. Przeprowadzono również szczegółowe badania mające na celu wykrycie patogennych serotypów *Escherichia coli* oraz pałeczek z rodzaju *Salmonella*, *Shigella* i *Yersinia*. Drobnoustroje eluowano z filtrów poprzez zawieszenie ich i wytrząsanie w jałowym buforowanym roztworze soli (PBS) z dodatkiem 0,05% Tween 80, który dodawano w objętości 10 ml do pojemników, w których filtry były dostarczane. Liczbę żywych drobnoustrojów (CFU – ang. Colony Forming Units) oznaczano standardową, płytkową techniką posiewu powierzchniowego na podłoża stałe po odpowiednim rozcieńczeniu eluatu (10^{-1}–10^{-6}). Korzystano z następujących pożywek: TSA_c (Becton Dickinson) – Triptic Soy Agar z cykloheksimidem – dla bakterii; TSA z 7,5% NaCl – podłoże selektywne dla halotolerancyjnych i halofilnych bakterii Gram-dadatnich i Gram-ujemnych; Mac Conkey Agar No2 (MAST Diagnostics) – podłoże selektywno-diagnostyczne dla pałeczek Gram-ujemnych; Pseudosel Agar (Becton Dickinson) – podłoże selektywno-diagnostyczne dla pałeczek *Pseudomonas* spp. i pokrewnych; Enterococcosel Agar (Becton Dickinson) – podłoże diagnostyczne dla *Enterococcus* spp. i Malt Extract Agar (BBL) z chloramfenikolem (0,01%) – podłoże selektywne dla grzybów. Inkubację bakterii mezofilnych prowadzono w temperaturze 35–37°C (48 godzin), grzybów – 25°C (48–120 godzin), bakterii psychrofilnych – 6°C (48 godzin). Próbki ścieków po odpowiednim rozcieńczeniu w PBS posiewano powierzchniowo również na wymienione podłoża. Liczbę CFU w próbie przeliczano na 1 m^3 powietrza przepuszczanego przez filtr, lub odpowiednio na 1 cm^3 ścieków.

Bakterie mezofilne i psychrofilne, które wyrosły na wymienionych pożywkach, izolowano i identyfikowano. Grzybów nie identyfikowano, ograniczając się jedynie do oznaczenia liczby grzybów pleśniowych, które wyrosły na podłożu Malt Extract Agar. Identyfikację bakterii mezofilnych opierano na morfologii komórek w preparacie mikroskopowym barwionym metodą Grama, morfologii kolonii na odpowiednich pożywkach, właściwościach biologicznych, biochemicznych i serologicznych. Wykorzystano cechy bakterii opisane w kluczu Bergeya (26) oraz w podręcznikach diagnostyki mikrobiologicznej (27,28), konstruując odpowiednie schematy identyfikacyjne. Stosowano pożywki diagnostyczne, diagnostyczno-wybiórcze przygotowywane z suchych preparatów handlowych (firmy: Biomed, Difco, BioMerieux, MAST Diagnostics), a także kompozycje własne oraz testy diagnostyczne (preparaty handlowe): API (BioMerieux), krążki diagnostyczne oraz surowice diagnostyczne do aglutynacji szkiełkowej (Biomed).

Oznaczenia czynników chemicznych

Dodatkowo, na stanowiskach stacjonarnych przy użyciu zestawów pomiarowych pompka–oprawka z filtrem pobrano próby powietrza na zawartość pyłu, ołowiu (Pb), kadmu (Cd) oraz chromu trzy i sześciowartościowego (Cr III, VI). Oznaczanie ołowiu, kadmu i chromu III przeprowadzono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej – AAS. Oznaczanie związków chromu VI przeprowadzono metodą kolorymetryczną z alkaliczną ekstrakcją próbki. Oznaczanie siarkowodoru (H_2S) oraz ditlenku siarki (SO_2) przeprowadzono metodą z zastosowaniem indywidualnych rurek dyfuzyjnych z bezpośrednim odczytem firmy Drager.

WYNIKI

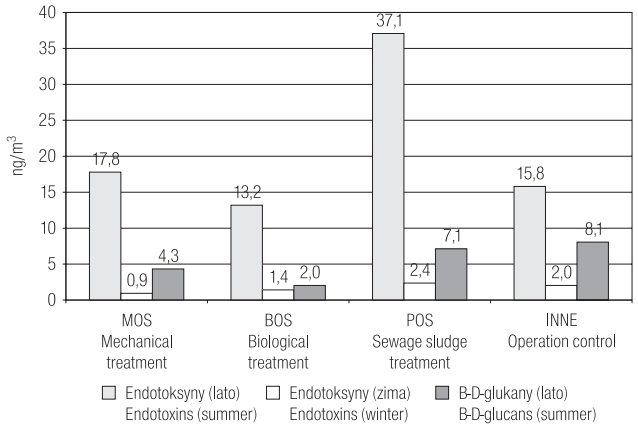
Stężenia substancji chemicznych były poniżej poziomu oznaczalności zastosowanych metod lub na tym poziomie. Wyniki oznaczeń przedstawia tabela 1.

Analiza prób powietrza na zawartość endotoksyn wykazała, że stężenia mieściły się w szerokim przedziale wartości od 0,08 do 223 ng/m^3. Biorąc pod uwagę wyodrębnione na początku badań podgrupy zawodowe, najwyższe średnie geometryczne stężeń endotoksyn odnotowano w strefie oddychania pracowników z działu przeróbki osadów ściekowych, natomiast najniższe – w dziale biologicznego oczyszczania ścieków (ryc. 1). Do prac, z którymi związane były szczególnie wysokie stężenia endotoksyn w powietrzu, należy zaliczyć szczególnie proces ręcznego opróżniania zbiornika z osadem przefermentowanym. W trakcie wykonywania tych czynności w próbach u siedmiu pracowników z grupy POS średnie geometryczne stężenie endotoksyn wyniosło 93 ng/m^3 powietrza.

Wyniki badań stężeń endotoksyn wskazują na wyraźną zmienność sezonową w ich występowaniu. Średnio można przyjąć, że wyniki uzyskane z pomiarów zimowych stanowiły około 10% wartości uzyskiwanych w czasie letnim. Również w tej serii pomiarowej dostrzegalne jest to, że najwyższe stężenia endotoksyn w powietrzu towarzyszyły pracom przy zagospodarowywaniu osadów ściekowych. Średnie geometryczne stężenie endotoksyn w okresie letnim obliczone dla prób od wszystkich pracowników oczyszczalni wyniosło 20,3 ng/m^3, zaś w okresie zimowym – 1,9 ng/m^3.

Stężenia glukanów oznaczone na stanowiskach pracy odznaczały się również szerokim spektrum wartości w zakresie od 0,00 do 163 ng/m^3. Grupami pracowników, które charakteryzowały się najwyższymi stężeniami glukanów w strefie oddechowej były INNE oraz POS – stwierdzono w nich odpowiednio stężenia 8,0 ng/m^3 i 7,1 ng/m^3. W powietrzu na tych samych stanowiskach pracy stwierdzono wysoką korelację między poziomem stężeń endotoksyn a glukanów o wartości r = 0,86, przy p < 0,0005 (22).

Analiza mikrobiologiczna stacjonarnych prób powietrza pozwoliła zbadać ilościowy i jakościowy skład flory bakteryjnej obecnej w powietrzu na terenie



Ryc. 1. Średnie geometryczne stężeń endotoksyn i glukanów w powietrzu w zależności od podgrupy zawodowej i pory roku.
Fig. 1. Geometric means of airborne endotoxins and glucans concentrations related to occupational subgrup and season of the year.

oczyszczalni ścieków podczas różnych etapów procesu technologicznego. Najwyższe stężenia bakterii mezofilnych występowały w pobliżu laguny osadowej (4,653 • 10^7 cfu/m^3), w budynku zagęszczania osadów (8,984 • 10^6 cfu/m^3) oraz w pobliżu kompostowni sąsiadującej z oczyszczalnią, jednak zdecydowana większość pobranych prób zawierała 10^1–10^2 cfu/m^3. W tabeli 2. przedstawiono wyniki oznaczeń stężeń drobnoustrojów żywych z pobranych prób powietrza. Podane wartości, z wyjątkiem prób pojedynczych, to średnie geometryczne oraz wartości skrajne.

Analiza jakościowa wykazała, że wśród bakterii mezofilnych i psychrofilnych występujących w powietrzu dominowały Gram-dodatnie laseczki z rodzaju *Bacillus*, które znaleziono we wszystkich analizowanych próbach. W przypadku kilku prób ze stanowisk 2, 6, 7 i 12 bakterie te wraz Gram-dodatnimi ziarenkowcami z rodzaju *Micrococcus*, *Staphylococcus* oraz innymi katalazododatnimi ziarniakami stanowiły jedyne znajdujące się w badanym materiale bakterie.

We wszystkich eluatach z filtrów były obecne grzyby nitkowate (pleśnie), których liczba w niektórych próbach (hala krat, komory napowietrzania) była większa niż znalezionych tam bakterii. W materiale pochodzącym z okolicy lagun osadowych dużej liczbie bakterii towarzyszyło również duże stężenie grzybów. Podobnie

Tabela 1. Uśrednione wyniki oznaczeń substancji chemicznych na stanowiskach pracy w GOS w Łodzi
Table 1. Averaged results of chemical agent determinations at workplaces in the Combined Sewage Tretment Plant (CSTP) in Łódź

	Pył całkowity Total dust	Ołów Lead	Kadm Cadmium	Chrom III Chromium III	Chrom VI Chromium VI	H_2S Sulphur hydrogen	SO_2 Sulphur dioxide
Stężenie (mg/m^3) Concentration	< 0,5–0,8	< 0,003	< 0,0006	< 0,007	< 0,005	< 2	< 1,9

Tabela 2. Drobnoustroje żywe w próbach powietrza na terenie badanej oczyszczalni ścieków
Table 2. Alive microorganisms in air samples collected in sewage plant

Numer i miejsce pobrania prób powietrza Number and place of air sample collection	Liczba żywych drobnoustrojów Number of alive microorganisms cfu • $10^3/m^3$						Liczba pobranych prób Number of collected samples
	bakterie mezofilne Mesophilic bacteria			bakterie psychrofilne Psychrophilic bacteria		grzyby Moulds	
	ogólna liczba Total number	liczba Number enterokoków Enterococci	liczba Number pałeczek Gram-ujemnych Gram-negative rods	ogólna liczba Total number	liczba pałeczek Gram-ujemnych Number of Gram-negative rods	ogólna liczba Total number	
1. Hala krat Screens hall	0,29 (0,1–0,7)	0,04 (0,01–0,27)	0	2,95 (0,6–13,3)	0,60	9,24 (3,2–26,7)	3
2. Wlot do osadników wstępnych Inlet to primary settlement tank	15,12 (3,2–70,8)	0	0,14	0,834 (0,7–0,9)	0,14	1,06 (0,6–1,9)	2
3. Wlot do komory osadu czynnego Inlet to activated sludge chamber	17,69 (0,4–745)	0	0	19,53 (0,8–449)	14,30	0,92 (0,4–1,9)	2
4. Komora strefy beztlenowej Anaerobic zone chamber	0	0	0	0,10	0,10	0	1
5. Komory napowietrzania Aeration tanks	1,91 (0,3–42)	4,99 (0,6–42)	0,01	1,62 (0,1–42)	0,12	6,01 (2,5–14)	3
6. Osadniki wtórne Secondary settlement tanks	0,07 (0,02–0,3)	0	0,01	0,53 (0,2–1,4)	0,16 (0,14–0,17)	2,11 (1,4–3,1)	3
7. Budynek zagęszczania osadu Sludge concentration building	69,65 (0,5–8984)	0	0	78,74 (1,2–5391)	0	1,27 (0,4–4)	2
8. Hala kontenerów z osadem Sludge container hall	0	0	0	0,31	0,31	0	1
9. Zbiornik osadu przefermentowanego Digested sludge tank	0,31 (0,3–0,33)	0,29	0,09 (0,03–0,3)	0,07 (0,04–0,1)	0,07 (0,04–0,1)	0	2
10. Laguny osadowe Sludge lagoon	46 531,30	0	0,01	37 648,00	0	12,69	1
11. Składowisko skratek Screenings dump	38,99 (1,8–836)	417,80	0,04 (0,01–0,14)	2,57 (2,4–2,8)	0,14	2,21 (0,7–7)	2
12. Okolice kompostowni Surroundings of composting plant	2,68 (0,04–2 841)	0,04	0,09 (0,06–0,14)	5,15 (0,09–142 046)	0,26 (0,09–0,9)	2,81 (1,4,5 9–4,3)	5

było w przypadku próby ustawionej przy komorach napowietrzania, jednak w większości badanych prób nie zaobserwowano takiej korelacji.

Spośród pałeczek Gram-ujemnych w próbach dominowały bakterie z rodzaju *Pseudomonas*, *Burkholderia* i *Shewanella*, zaliczane do tzw. środowiskowych. Liczne były także bakterie jelitowe stale zasiedlające przewód pokarmowy człowieka, tj. z rodziny *Enterobacteriaceae*, oraz ziarenkowce Gram-dodatnie *Enterococcus faecalis*, które w próbach pobranych w hali krat stanowiły 100% wszystkich znalezionych bakterii mezofilnych. Ogółem ze wszystkich pobranych prób zbadano 94 izolaty, z których 32 były bakteriami jelitowymi, a pozostałe to gatunki bytujące powszechnie zarówno w ściekach, jak i w innych siedliskach środowiska przyrodniczego. W próbach powietrza nie stwierdzono występowania jelitowych bakterii chorobotwórczych z rodzaju *Shigella*, *Salmonella*, czy patogennych serotypów *Escherichia coli*. Listę zbadanych izolatów bakterii przedstawiono w tabeli 3.

W tabeli 4. przedstawiono wyniki analizy mikrobiologicznej próbek ścieków, które wskazują, że praca oczyszczalni pozwala znacznie obniżyć liczbę drobnoustrojów występujących ściekach, w tym wyelimi-

Tabela 3. Gatunki oraz liczby zbadanych izolatów bakterii mezofilnych i psychrofilnych wyodrębnionych z prób powietrza pobranych na terenie badanej oczyszczalni ścieków
Table 3. Species and numbers of isolates of mesophilic and psychrophilic bacteria determined in air samples collected in sewage plant

Rodzaj Genus *Enterococcus*	Liczba izolatów Number of isolates	Rodzina Family *Enterobacteriaceae*	Liczba izolatów Number of isolates	Rodzaj *Pseudomonas* i pokrewne niefermentujące oksydazo+ Genus *Pseudomonas* and related non-fermentative oxidase-positive genera	Liczba izolatów Number of isolates	Inne pałeczki Gram-ujemne Other Gram-negative rods	Liczba izolatów Number of isolates
E. faecalis	14	*Erwinia* spp.	3	*Pseudomonas fluorescens*	5	*Pasteurella* spp.	2
		Hafnia alvei	3	*Pseudomonas aeruginosa*	1	*Acinetobacter* spp.	2
		Leclercia adecarboxylata	3	*Pseudomonas oryzihabitans*	2	*Aeromonas hydrophila*	1
		Escherichia vulneris	1	*Burkholderia cepacia*	7	niezidentyfikowane unidentified	17
		Klebsiella oxytoca	3	*Shewanella putrefaciens*	1		
		Klebsiella pneumoniae	1	niezidentyfikowane unidentified	24		
		Tatumella ptyseos	1				
		Enterobacter cloacae	2				
		niezidentyfikowane unidentified	1				
Razem Total	14		18		40		22

Tabela 4. Zawartość drobnoustrojów w próbach ścieków pobranych w kolejnych fazach oczyszczania
Table 4. Content of microorganisms in sewage samples collected in different treatment phases

Miejsce pobrania próby Place of air sample collection	Liczba żywych drobnoustrojów Number of alive microorganisms cfu • $10^3/cm^3$					
	bakterie mezofilne Mesophilic bacteria			bakterie psychrofilne Psychrophilic bacteria		grzyby Moulds
	ogólna liczba Total number	liczba Number		ogólna liczba Total number	pałeczki Gram-ujemne Gram-negative rods	ogólna liczba Total number
		enterokoki Enterococci	pałeczki Gram-ujemne Gram-negative rods			
Ścieki przed oczyszczeniem (S1) Untreated (raw) sewage (S1)	33 000	48	25 000	20 000	3 800	10 000
Ścieki przed oczyszczeniem biologicznym (S2) Sewage before biological treatment (S2)	10 000	0,8	5 000	8 300	2 500	0
Ścieki po oczyszczeniu (S3) Sewage plant effluent (S3)	320	0,3	200	200	2,7	400

Tabela 5. Lista rodzajów i gatunków bakterii występujących w analizowanych próbach ścieków komunalnych
Table 5. List of microbial species and genera identified in samples of communal sewage

Ziarenkowce Gram-dodatnie Gram-positive cocci	*Enterococcus faecalis* (S1–S3), *Enterococcus feacium* (S3)
Pałeczki Gram-ujemne Gram-negative rods	
– rodzina *Enterobacteriaceae* – family *Enterobacteriaceae*	*Escherichia coli* (S1–S3), *Escherichia coli* (serotypy EPEC) (S1–S2), *Enterobacter cloacae* (S1–S3), *Enterobacter aerogenes* (S1, S3), *Enterobacter amnigenus* (S1), *Enterobacter gergoviae* (S1), *Enterobacter sakazakii* (S1–S3), *Enterobacter* spp. (S3), *Pantoea agglomerans* (S2–S3), *Proteus vulgaris* (S1), *Proteus mirabilis* (S1-S2), *Citrobacter freundii* (S1–S2), *Providencia stuarti* (S1), *Providencia rettgeri* (S2), *Klebsiella pneumoniae* subsp. *pneumoniae* (S1–S3), *Klebsiella oxytoca* (S1, S3), *Serratia fonticola* (S1), *Serratia proteamaculans* subsp. *proteamaculans* (S3).
– rodzaj *Pseudomonas* i rodzaje pokrewne – genus *Pseudomonas* and related genera	*Burkholderia cepacia* (S1–S3), *Pseudomonas aeruginosa* (S2–S3), *Pseudomonas fluorescens* (S2), *Pseudomonas putida* (S3).
– inne pałeczki Gram-ujemne – other Gram-negative rods	*Chromobacterium violaceum* (S1), *Aeromonas hydrophila* (S1, S3), *Pasteurella* spp. (S1), *Vibrio metschnikovi* (S1), *Vibrio alginolyticus* (S2), *Vibrio* spp. (S3), *Alcaligenes* spp. (S3).

S1–S3 – wyjaśnienie skrótów w tabeli 4.
abbreviations explained in table 4.

nować z nich serotypy enteropatogenne *Escherichia coli* (EPEC). Wykaz bakterii występujących w ściekach przedstawiono w tabeli 5. Wśród wszystkich badanych izolatów bakterii było ponad 20% izolatów, których dokładna identyfikacja nie była możliwa przy zastosowaniu przyjętych schematów postępowania.

OMÓWIENIE

Przeprowadzone badania były pierwszą w Polsce próbą dokonania kompleksowej oceny narażenia pracowników oczyszczalni ścieków na czynniki szkodliwe. Analiza próbek powietrza na zawartość pyłu, ołowiu, kadmu oraz chromu III i VI, jak również ditlenku siarki i siarkowodoru wskazuje, że stężenia tych substancji były niskie. Ilorazy średnich ważonych stężeń pyłu i jego składników (Pb, Cd, Cr III i IV) oraz gazów (H_2S i SO_2), w stosunku do odpowiadających im wartości NDS (krotność NDS) były na wszystkich stanowiskach pracy niższe od wartości „1". Świadczy to o tym, że warunki pracy na tych stanowiskach, nie stwarzały zagrożenia dla zdrowia. Niskie poziomy stężeń badanych metali mogą być powiązane ze stosunkowo niskim stężeniem pyłu na stanowiskach pracy.

Interpretacja uzyskanych wyników w zakresie czynników biologicznych jest utrudniona z powodu braku normatywów pozwalających na higieniczną ocenę warunków pracy. W piśmiennictwie można znaleźć liczne propozycje wartości dopuszczalnych, które zwykle mają charakter arbitralny. Pomagają one w interpretowaniu uzyskanych danych pomiarowych. Wśród przedstawianych propozycji najczęściej wymienianą miarą narażenia zawodowego na czynniki biologiczne jest stężenie endotoksyn. Między innymi Komitet ds. Pyłu Organicznego ICOH (23) proponuje przyjąć wartość wytyczną dla narażenia niewywołującego efektu (no effect level – NEL). W tym wypadku dla zapalenia dróg oddechowych jest to stężenie 10 ng/m^3, dla efektów systemowych – 100 ng/m^3 oraz dla toksycznego zapalenia płuc – 200 ng/m^3. Także w Polsce Dutkiewicz zaproponował fakultatywną wartość stężenia endotoksyn na poziomie 200 ng/m^3 (29).

Wartości średnie w poszczególnych podgrupach zawodowych przekroczyły najniższą wartość graniczną zaproponowaną przez ICOH, z czego najwyższe, blisko czterokrotne przekroczenie miało miejsce w dziale przeróbki osadów ściekowych. O niekorzystnych warunkach pracy w podgrupie POS wskazują jeszcze wyraźniej pojedyncze wartości oznaczeń. Spośród wszystkich prób powietrza w dziesięciu przypadkach stwierdzono stężenia endotoksyn powyżej 200 ng/m^3, przy czym aż 9 z nich przypadało na pracowników POS. Były to głównie osoby, które pracowały przy opróżnianiu zbiornika z osadem przefermentowanym. Należy wspomnieć, że w tej oczyszczalni ścieków proces ten w chwili obecnej jest już w pełni zautomatyzowany. Analiza wszystkich wyników poszczególnych pomiarów wskazuje, że ponad 60% z nich przekraczało stężenia 10 ng/m^3. Uzyskane wyniki korespondują z pracami innych autorów. U Rylandera (12) przy zagospodarowaniu osadów ściekowych stwierdzono w powietrzu najwyższe stężenia endotoksyn o wartości ponad 32 000 ng/m^3. W innych badaniach (11) w tym dziale oczyszczalni średnie stężenie endotoksyn było na poziomie 140 ng/m^3 (zakres 9,2–350 ng/m^3). Były to najwyższe wartości stwierdzone we wszystkich etapach oczyszczania ścieków. W czasie kompostowania osadów ściekowych wykazano na-

tomiast stężenia endotoksyn w zakresie 28,9–5930,6 ng/m^3 powietrza (30).

Wyniki uzyskane w trakcie naszych badań pokazują, że stężenia endotoksyn w powietrzu wykazują zmienność sezonową. Kilkakrotnie niższe stężenia w okresie zimowym wynikają przede wszystkim z niekorzystnych warunków środowiskowych (niska temperatura, mniejsza wilgotność powietrza), które hamują rozwój drobnoustrojów. Poziom endotoksyn oznaczanych w styczniu i lutym często odpowiadał wartościom „tła" mierzonego w różnych punktach miasta Łodzi w okresie letnim (średnia geometryczna = 0,84 ng/m^3).

Ocena higieniczna stężeń (1→3)-β-D glukanów jest znacznie trudniejsza z powodu braku podstaw merytorycznych do takiej interpretacji. Przypuszcza się, że ich oddziaływanie ma miejsce przede wszystkim w pomieszczeniach zamkniętych i znacznie potęguje się w kombinacji z endotoksynami (działanie to wzrasta blisko 100-krotnie). Źródłem glukanów są komórki i zarodniki grzybów, u których wchodzą one w skład ściany komórkowej. Przy czynnościach, którym towarzyszy zapylenie mogą unosić się w powietrzu zarodniki i komórki grzybów. Pracownicy ekip remontowych, u których stwierdzono najwyższe średnie stężenie glukanów w strefie oddychania, z racji wykonywanych czynności znaczną część swojego czasu pracy spędzają w pomieszczeniach zamkniętych, często w bliskim kontakcie z zabrudzonymi elementami urządzeń ciągu technologicznego. Należy jednak stwierdzić, że podobnie jak w przypadku endotoksyn najwyższe indywidualne stężenia glukanów odnotowano także w próbach z grupy POS. Pierwszych 6 najwyższych zawartości tych związków w powietrzu było związanych właśnie z procesem przeróbki osadów ściekowych.

Analiza mikrobiologiczna pobranych prób powietrza wykazała, że nie ma żadnej zależności między liczbą żywych drobnoustrojów a miejscem, z którego pochodziła próba powietrza. Nawet w przypadku stanowisk, na których pobierano dwie lub więcej prób powietrza w tym samym czasie, jak np. budynek zagęszczania osadu czy składowisko skratek i okolice kompostowni, liczby wyhodowanych drobnoustrojów znacznie się różniły. Do oceny ilościowej drobnoustrojów zastosowano wartość referencyjną dla całkowitej dopuszczalnej liczby bakterii mezofilnych, zaproponowaną przez Dutkiewicza (29). Wziąwszy pod uwagę, że wartość ta dla bakterii mezofilnych w powietrzu wynosi 10^5 cfu/m^3, należy uznać, że w pobliżu laguny osadowej oraz w budynku zagęszczania osadu stężenia były daleko wyższe od proponowanej wartości. Wartość ta była również znacznie przekroczona w pobliżu kompostowni. W tym przypadku nie można jednak wykluczyć wpływu tego obiektu na wynik przeprowadzonego pomiaru. Sąsiadująca kompostownia jest obiektem odkrytym, w którym zagospodarowywane są odpady zielone przywiezione z miasta. Szczególnie przy wykonywaniu czynności takich, jak rozdrabnianie odpadów czy przerzucanie pryzm kompostu do powietrza uwalniane są duże ilości pyłu oraz bioaerozoli (31).

Wykryte w próbach powietrza bakterie Gram-dodatnie z rodzajów *Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus* czy także zarodniki pleśni są mikroorganizmami powszechnie występującymi w środowisku. Przetrwalniki laseczek, ziarenkowce Gram-dodatnie i zarodniki pleśni znajdują się w glebie, wodzie, na roślinach, w kurzu ulicznym, więc ich obecność w powietrzu na terenie oczyszczalni ścieków nie stanowi pewnego dowodu na zanieczyszczenie atmosfery aerozolami pochodzenia ściekowego (chociaż drobnoustroje te mogą występować także w ściekach). Należy również podkreślić, że naturalnym siedliskiem niektórych zidentyfikowanych rodzajów bakterii Gram-ujemnych jest środowisko przyrodnicze. Rzadko są one natomiast spotykane w przewodzie pokarmowym ludzi i zwierząt (*Erwinia* – patogen roślin), więc trudno twierdzić, że ich rezerwuarem są tylko ścieki. Przedstawiciele pozostałych rodzajów bakterii Gram-ujemnych (rodzina *Enterobacteriaceae*) zasiedlają przewód pokarmowy człowieka i różnych zwierząt, więc wraz z wydalinami ludzkimi i zwierzęcymi mogą dostawać się do ścieków.

Pałeczki z rodzaju *Pseudomonas* i pokrewne, jak np. *Burkholderia,* czy *Shewanella* są bakteriami typowo środowiskowymi i stałym miejscem ich bytowania są również ścieki. Wynika to z szerokich możliwości przystosowawczych tych pałeczek i ich zdolności wykorzystywania jako źródeł węgla różnych związków organicznych (np. pochodne fenoli).

Inne znalezione w badanych próbach rodzaje bakterii, jak *Pasteurella, Acinetobacter* i *Aeromonas*, mogą także znajdować się w ściekach. Pałeczki *Pasteurella* zasiedlają przewód pokarmowy różnych ssaków (raczej nie ludzi) i ptaków, a pałeczki pozostałych dwóch rodzajów bytują w środowisku naturalnym, w tym głównie w wodzie i ściekach.

W analizowanych próbach występowały także inne pałeczki Gram-ujemne, w znacznie większych ilościach w porównaniu z omówionymi wcześniej rodzajami. Bakterii tych jednak nie udało się poza wstępną klasyfikacją przypisać do określonego rodzaju, mimo zbadania ich wielu cech. Część z nich była psychrofilami wyka-

zującymi zdolność mnożenia się w temperaturze 6°C. Należy przypuszczać, że były to bakterie o słabo dotąd poznanych i opisanych cechach, jak wiele bakterii środowiskowych, które nie mają znaczenia klinicznego.

Bakterie z rodzaju *Enterococcus* (paciorkowce kałowe) są ziarenkowcami Gram-dodatnimi stale zasiedlającymi przewód pokarmowy ludzi oraz zwierząt i są traktowane jako bakterie typowo kałowe i wskaźnikowe dla stanu higienicznego badanego obiektu. Wszystkie wyizolowane z prób powietrza paciorkowce kałowe należały do gatunku *E. faecalis*, który jest dominującą frakcją wśród paciorkowców bytujących w jelicie grubym człowieka. W materiale pobranym w hali krat ziarenkowce te stanowiły 100% znalezionych bakterii mezofilnych. Można zatem sądzić, że źródłem enterokoków wykrytych w powietrzu były ścieki.

Opierając się na klasyfikacji będącej załącznikiem do rozporządzenia Ministra Zdrowia, wszystkie oznaczone w powietrzu i w ściekach drobnoustroje można zaliczyć do 2. grupy czynników biologicznych, tj. takich, które mogą wywołać chorobę u ludzi i mogą być szkodliwe dla pracowników. W przypadku tych czynników możliwa jest skuteczna profilaktyka oraz leczenie ewentualnych zachorowań.

WNIOSKI

1. Stężenia pyłu, ołowiu, kadmu i chromu oraz ditlenku siarki i siarkowodoru były poniżej wartości dopuszczalnych określonych przez normatywy higieniczne, co pozwala uznać je za niestwarzające zagrożenia dla zdrowia pracowników. Niskie stężenia metali powiązane były ze stosunkowo małym zapyleniem na stanowiskach pracy.

2. Wyniki oznaczeń endotoksyn w powietrzu strefy oddychania pracowników wykazały, że stężenie średnie (geometryczne) w okresie letnim wynosiło 20,3 ng/m^3, a glukanów – 7,76 ng/m^3. W okresie zimowym stężenia endotoksyn były kilkakrotnie niższe.

3. Na podstawie wyników jednostkowych największa emisja bioaerozoli (bakterii i endotoksyn) do powietrza związana była z procesem zagospodarowania osadów ściekowych (stężenia endotoksyn powyżej 150 ng/m^3).

4. Wziąwszy pod uwagę, że proponowane dopuszczalne stężenie endotoksyn w powietrzu wynosi 10 ng/m^3, to w 60% wszystkich prób stwierdzono przekroczenia tego poziomu. Największe, 20-krotne, stwierdzono przy pracach z osadami ściekowymi.

5. Stężenia bakterii w powietrzu na terenie oczyszczalni były na niskich poziomach (10^2 cfu/m^3) z wyjątkiem lagun osadowych oraz budynku zagęszczania osadu w GOŚ, gdzie przekroczyły one proponowaną wartość referencyjną dla bakterii mezofilnych 10^5 cfu/m^3.

6. Analiza bakteriologiczna wskazała na przewagę gatunków typowo środowiskowych, w tym bytujących naturalnie w ściekach komunalnych i przemysłowych, a także występowanie bakterii kałowych, które są wskaźnikiem higienicznego stanu badanych stanowisk pracy.

7. Wszystkie zidentyfikowane drobnoustroje należały do 2. grupy ryzyka zawodowego według rozporządzenia Ministra Zdrowia.

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 2005, nr 81, poz. 716
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego oraz Rady 2000/54/UE z 18 września 2000 r. w sprawie ochrony pracowników przed ryzykiem związanym z narażeniem na działanie czynników biologicznych w pracy. OJ 2000, L 262
3. Kuszmider G., Kolonko I., Suschka J.: Lotne związki organiczne w ściekach komunalnych. Arch. Ochr. Środ., 1997;23:91–104
4. Kuszmider G., Mrowiec B., Kubiesa I. Suschka J.: Uwalnianie lotnych związków organicznych ze ścieków do atmosfery. Arch. Ochr. Środ., 1997;23:79–90
5. Lemasters G.K., Zenick H., Hertzberg V., Hansen K., Clark S.: Fertility of workers chronically exposed to chemically contaminated sewer wastes. Reprod. Toxicol., 1991;5:31–37
6. Cyprowski M., Krajewski J.A.: Czynniki szkodliwe dla zdrowia występujące w oczyszczalniach ścieków komunalnych. Med. Pr., 2003;54(1):73–80
7. Pollutants in urban waste water and sewage sludge. Final report. ICON, I C Consultants Ltd, London 2001
8. Organic contaminants in sewage sludge for agricultural use. European Commission, Brussels, Ispra 2001
9. Janoszka B., Bodzek D., Bodzek M.: Występowanie i oznaczanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i ich pochodnych w wybranych osadach ściekowych. Arch. Ochr. Środ., 1997;23:55–67
10. Berg A.K., Peoples R.S.: Distribution of polichlorinated biphenyls in municipal wastewater treatment plant and environs. Sci. Total Environ., 1977;8(3):197–204
11. Laitinen S., Kangas J., Kotimaa M., Liesivuori J., Martikainen P.J., Nevalainen A. i wsp.: Workers' exposure to airborne bacteria and endotoxins at industrial wastewater treatment plants. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 1994;55(11):1055–1060
12. Rylander R.: Health effects among workers in sewage treatment plants. Occup. Environ. Med., 1999;56:354-357
13. Melbostad E., Eduard W., Skogstad A., Sandven P., Lassen J., Søstrand P. i wsp.: Exposure to bacterial aerosols and work-related symptoms in sewage workers. Am. J. Ind. Med., 1994;25:59–63
14. Thorn J., Kerekes E.: Health effects among employees in sewage treatment plants: A literature survey. Am. J. Ind. Med., 2001;40:170–179

15. Thorn J., Beijer L., Jonsson T., Rylander R.: Measurement strategies for the determination of airborne bacterial endotoxin in sewage treatment plants. Ann. Occup. Hyg., 2002;46(6):549–554
16. Kalisz L., Kaźmierczuk M., Sałbut J.: Miejska oczyszczalnia ścieków jako źródło mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza. Ochr. Środ. Zasob. Natur., 1997;7:33–55
17. Kalisz L., Sałbut J., Kaźmierczuk M.: Ocena oddziaływania obiektów komunalnych na mikrobiologiczną jakość powietrza oraz rozprzestrzenianie się odorów. Ochr. Środ. Zasob. Natur., 1996;9:125–143
18. Prażmo Z., Krysińska-Traczyk E., Skórska C., Sitkowska J., Cholewa G., Dutkiewicz J.: Expsure to bioaerosols in a municipal sewage treatment plant. Ann. Agric. Environ. Med., 2003;10:241–248
19. Kocwa-Haluch R.: Comparison of the airborne spread of coliform and hemolytic bacteria around a sewage treatment plant. Ann. Agric. Environ. Med., 1996;3:13–17
20. Wlazło A., Pastuszka J.S., Łudzeń-Izbińska B.: Ocena narażenia na aerozol bakteryjny pracowników niedużej oczyszczalni ścieków. Med. Pr., 2002;53:109–114
21. Welke G.: Virologische Untersuchungen an einer mechanisch-biologischen Abwasser-Reinigungsanlage. Z. Gesamte. Hyg., 1969;15(11):894–897
22. Krajewski J.A., Cyprowski M., Szymczak W., Gruchała J.: Health complaints from workplace exposure to bioaerosols: a questionnaire study in sewage workers. Ann. Agric. Environ. Med., 2004;11:199–204
23. Rylander R.: Endotoxins in the environment – A criteria document. Int. J. Occup. Environ. Health, 1997;3:1–48
24. Scarlett-Kranz JM., Babish JG., Strickland D., Lisk DJ.: Health among municipal sewage and water treatment workers. Toxicol. Ind. Health, 1987;3(3):311–319
25. Kraut A., Lilis R., Marcus M.,Valciukas J.A., Wolff M.S., Landrigan P.J.: Neurotoxic effects of solvent exposure on sewage treatment workers. Arch. Environ. Health, 1988;43(4):263-268
26. Holt J.G., Krieg N.R., Sneath P.H.A., Stanley J.T., Williams S.T.: Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. Wyd. 9. Williams & Wilkins, Baltimore 1994
27. Howard B.J., Keiser J.F., SmithT.F., Weissfed A.S., Tilton R.C.: Clinical and pathogenic microbiology. Mosby, St. Louis 1994
28. Koneman E.W., Allen S.D., Janda W.M., Schreckenbrger P.C., Winn W.C. Jr: Color Atlas and Textbook of Diagnostic Microbiology. Lippicott-Raven Publ., Philadelphia 1997
29. Dutkiewicz J., Mołocznik A.: Pyły organiczne pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. Zeszyt 5. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 1988, ss. 151–183
30. Darragh A.H., Buchan R.M., Sandford D.R., Coleman R.O.: Quantification of Air Contaminants at a Municipal Sewage Sludge Composting Facility. Appl. Occup. Environ. Hyg., 1997;12(3):190–194
31. Krajewski J.A., Szarapińska-Kwaszewska J., Dudkiewicz B., Cyprowski M., Tarkowski St., Kończalik J. i wsp.: Ocena narażenia pracowników na bioaerozole występujące w powietrzu na stanowiskach pracy w czasie zbierania i zagospodarowania odpadów komunalnych. Med. Pr., 2001;52(6):417–422