

## Wpływ aerozolu biologicznego z oczyszczalni ścieków na zdrowie pracowników i okolicznych mieszkańców – analiza literaturowa

### Influence of biological aerosol from wastewater treatment plants on workers and the local residents health – literature review

Aleksandra Michalak<sup>1 (a, b, c)</sup>, Krystyna Pawlas<sup>1, 2 (a, c, d)</sup>

<sup>1</sup> Katedra i Zakład Higieny Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich we Wrocławiu  
Kierownik Zakładu: dr hab. n. med. K. Pawlas, prof. nadzw.

<sup>2</sup> Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu  
Dyrektor: dr n. med. P.Z. Brewczyński

(a) koncepcja

(b) opracowanie tekstu

(c) zebranie piśmiennictwa

(d) merytoryczny nadzór nad ostateczną wersją artykułu

#### STRESZCZENIE

Aerozol biologiczny tworzą drobnoustroje, ich toksyny oraz fragmenty mikroorganizmów zawieszane w postaci drobnych kropeł lub cząstek stałych. Szczególnie ekspozycyjni na jego działanie są pracownicy oczyszczalni ścieków oraz okoliczni mieszkańcy. Doniesienia literaturowe zwracają uwagę na rolę bakterii kałowych z rodziny Enterobacteriaceae oraz drożdży, które stwarzają rzeczywiste zagrożenie czystości sanitarnej powietrza przy oczyszczalniach. Emisja drobnoustrojów chorobotwórczych przeważa w sąsiedztwie obiektów związanych z osadami (zbiorniki gromadzenia osadu, poletka osadowe). Badania naukowe wskazują, że zasięg oddziaływania bioaerozolu sięga do 3 km poza teren oczyszczalni. Do najczęściej zgłaszanych objawów przez pracowników oczyszczalni ścieków oraz mieszkańców terenów przyległych, należą dolegliwości związane z układem oddechowym. Pojawiają się również zaburzenia gastryczne, skórne oraz objawy ogólne, których występowanie można tłumaczyć ekspozycją na endotoksyny obecne w bioaerozolu.

**Słowa kluczowe:** bioaerozol, oczyszczalnia ścieków, zdrowie pracowników i mieszkańców

#### ABSTRACT

Bioaerosol forms microbes, their toxins and fragments of microorganisms suspended as small droplets or solid particles. The group particularly exposed are workers of sewage treatment plants and local residents. Literature reports stress the role of the fecal bacteria from the Enterobacteriaceae family and yeasts, which create a real risk of air pollution near the waste water treatment plants. Emission of pathogenic microbes prevails in the neighbourhood of sedimentation tanks, sludge drying beds. Research shows that the extent of bioaerosol influence reaches the distance of 3 km away from any wastewater treatment plant. The most frequent symptoms reported by workers from wastewater treatment plants and local residents are respiratory disorders. There are also gastrointestinal and skin problems and general disorders, that can be explained by exposure to endotoxins in bioaerosol.

**Key words:** bioaerosol, wastewater treatment plant, health of workers and residents

#### WSTĘP

Już w czasach starożytnych wraz z powstawaniem miast pojawił się problem ze ściekami, nie tylko natury estetycznej związanej z wydzielającymi się odorami, ale przede wszystkim z zagrożeniem epidemiologicznym. W skład ścieków komunalnych wchodzi oprócz zanieczyszczeń pochodzenia organicznego, różnorodne czynniki biologiczne, w tym mikroorga-

nizmy chorobotwórcze. Zagrożenie to dostrzeżono już w starożytności, budując systemy odprowadzania ścieków. Około 1500 r. p.n.e. na wzniesieniach w Mohenjo-Daro (Pakistan) stawiano domy wyposażone w toalety, z których zanieczyszczenia spływały kanałami do rzeki Indus [1]. W antycznym Rzymie około 500 r. p.n.e. powstał główny kanał ściekowy (Cloaca Maxima), prowadzący do Tybru [2]. Źródłem wody do picia, podobnie jak miejscem usuwania nieczys-

tości były rzeki. Wraz z napływem ludności do miast w okresie industrializacji i wzrostem ilości ścieków odprowadzanych bezpośrednio do rzek, przekroczona została zdolność procesów samooczyszczania się środowiska naturalnego, a w dużych miastach szerzyły się choroby, takie jak np. cholera (XIX w.) [1, 3]. Kiedy w następnych latach odkryto, że źródłem chorób są bakterie fekalne, zaczęto stosować pierwsze systemy oczyszczania ścieków. Współczesne oczyszczalnie ścieków zapewniają bezpieczeństwo z punktu widzenia jakości ścieków oczyszczonych (RMŚ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego – Dz.U. 2006 nr 137, poz. 984), ale mogą być źródłem bioaerozoli.

Z jednej strony oczyszczalnia powinna być zlokalizowana jak najbliżej źródła powstawania ścieków, czyli w pobliżu miast i osiedli ludzkich, a z drugiej strony, z uwagi na emisję odorów i zagrożenie skażeniem biologicznym otoczenia, odpowiednio oddalona od zabudowań.

Odory emitowane z oczyszczalni ścieków są uciążliwymi, natomiast problemem mogą być czynniki biologiczne rozchodzące się wraz z odorami, które zawierają mikroorganizmy chorobotwórcze. Skażenie powietrza przy oczyszczalni i jego wpływ na organizm człowieka jest zagadnieniem, którym naukowcy interesują się od kilku dekad [4]. Podczas procesów technologicznych tworzy się pyłowo-kropelkowy aerozol, rozprzestrzeniający się w powietrzu na różne odległości. Do grupy ryzyka zaliczani są pracownicy oczyszczalni ścieków oraz mieszkańcy terenów przyległych [5]. Celem publikacji jest przeanalizowanie doniesień literaturowych na temat zagrożeń zdrowotnych związanych z ekspozycją na bioaerozol z uwzględnieniem jego składu oraz zasięgu oddziaływania.

## BIOAEROZOL – ZAGROŻENIE CZYNNIKAMI BIOLOGICZNYMI W POWIETRZU

Aerozol biologiczny definiuje się jako ożywione i nieożywione cząstki biologiczne zawieszone w powietrzu o rozmiarach w granicach 0,02–200 µm. Najczęściej związane są one z pyłem lub otoczone warstwą wody w postaci kropli. Należą do nich: bakterie, wirusy, zarodniki grzybów, pyłki roślin, fragmenty mikroorganizmów oraz ich produkty uboczne. Drobnoustroje wytwarzają endo- i egzotoksyny, mykotoksyny, (1-3)-beta-D-glukany, peptydoglikany, różne alergeny, enzymy oraz antygeny. Wymienione składowe bioaerozoli mogą wywierać wpływ na organiz-

my żywe poprzez działanie alergizujące i toksyczne. Dla mikroorganizmów powietrze jest jedynie środowiskiem transportowym [5, 6]. Badania dowodzą, że najwyższe stężenia mikroorganizmów występują nad powierzchnią ziemi w okresie suchym przy umiarkowanym wietrze [5].

Ścieki zawierają całą gamę rozmaitych drobnoustrojów, które w otocze wodnej z łatwością przedostają się do atmosfery. Ich przedstawicielami są bakterie mezofile Gram-ujemne: *E. coli*, *Pseudomonas fluorescens*, *Klebsiella pneumoniae*, *Clostridium perfringens*, *Leptospira* spp. oraz Gram-dodatnie: gronkowce (*Staphylococcus* spp.) i paciorkowce (*Streptococcus* spp.) [7–9]. Do patogenów wykrywanych w oczyszczalniach ścieków należą również bakterie psychro- i termofilne (*Campylobacter* spp., *Actinomyces*) [7, 9]. Endotoksyny, będące składnikiem ściany komórkowej bakterii Gram ujemnych, stanowią biologicznie aktywne lipopolisacharydy (LPS), wywołujące reakcje zapalne [7, 10]. Uwolnione do środowiska zewnętrznego przyjmują formę sferycznych cząsteczek frakcji respiralnej o rozmiarach 30–50 nm. Podobnym działaniem charakteryzują się peptydoglikany (mureina), budujące ściany komórkowe bakterii Gram dodatnich [11]. Enterotoksyny należące do grupy egzotoksyn Gram ujemnych bakterii jelitowych powodują zatrucia pokarmowe [6].

Niebezpiecznymi czynnikami biologicznymi obecnymi w bioaerozolu z oczyszczalni ścieków są grzyby (*Aspergillus fumigatus*, *Cryptococcus* spp., *Candida* spp., *Penicillium* spp.), a przede wszystkim ich produkty przemiany materii (mykotoksyny – trichoteceny, ochratoksyna, czy Aflatoksyna B<sub>1</sub> o działaniu hepatotoksycznym, mutagennym, kancerogennym i teratogennym) [7, 9, 11]. Sposób wnikania ich do organizmu zachodzi zarówno drogą pokarmową jak i oddechową [11]. Składniki ściany komórkowej grzybów ((1-3)-beta-D-glukany), wpływają na organizm człowieka podobnie jak endotoksyny, a przypuszczalnie ich wzajemna relacja opiera się na działaniu synergistycznym [12].

Duże zagrożenie stanowią wirusy, w tym *hepatitis A* (HAV) oraz *B* (HBV) i *C* (HCV). Charakteryzują się one znaczną odpornością zarówno na czynniki chemiczne jak i fizyczne [7]. Transmisja tych patogenów z bioaerozolem drogą pokarmową do organizmu człowieka niesie ryzyko wirusowego zapalenia wątroby typu A [13]. W przypadku dwóch ostatnich wirusów, do zakażeń dochodzi przy bezpośrednim kontakcie ze ściekami poprzez uszkodzoną skórę [7]. Do pozostałych czynników zakaźnych obecnych w ściekach należą: enterowirusy (*polio*, *ECHO*, *Coxsackie*), adenowirusy, rotawirusy i parwowirusy, których infekcyjne działanie rozciąga się od lekkich zaka-

zeń żołądkowo-jelitowych, po poważniejsze zmiany chorobowe [7, 14].

Oprócz narażenia na czynniki biologiczne, problemem jest również uciążliwość zapachowa, pochodząca z produktów rozpadu substancji organicznych zawartych w ściekach. W skład odorów wchodzi szkodliwe dla zdrowia (wywołujące podrażnienie błon śluzowych) gazy: amoniak, metan, siarkowodór oraz aldehydy, alkohole i estry o ostrej, drażniącej woni, jak np. octan butylu [8, 11].

### OCZYSZCZALNIA ŚCIEKÓW (I TEREN WOKÓŁ OCZYSZCZALNI) JAKO MIEJSCE NARAŻENIA NA PATOGENY

Określając ryzyko narażenia na bioaerazol pracowników oczyszczalni ścieków jak i okolicznych mieszkańców uwzględnia się parametry geograficzne (ukształtowanie terenu), klimatyczne oraz meteorologiczne: opad atmosferyczny, temperaturę, ruch i wilgotność względną powietrza [5, 6]. Pomiary mikroorganizmów dokonywane w różnych strefach klimatycznych, przy zróżnicowanej wilgotności i nasłonecznieniu mogą prowadzić do odmiennych wyników i ich interpretacji również w zakresie skutków zdrowotnych [15].

Z badań przeprowadzonych przez Michałkiewicza ze wsp. [6] wynika, że najwyższe stężenia mikroorganizmów (bakterie mezofile i psychrofilne) w powietrzu na terenie oczyszczalni występują w sąsiedztwie obiektów związanych z osadami:

- zbiorniki gromadzenia osadu – max. do 94.000 JTK/m<sup>3</sup> bakterii,
- komory rozdziału – max. do 157.800 JTK/m<sup>3</sup> grzybów mikrosporowych
- poletka osadowe.

Zarówno składowanie jak i transport osadów ściekowych sprzyjają emisji bakterii do atmosfery. Wynika to przede wszystkim ze znacznych ilości powyżej  $1 \times 10^3$  JTK/m<sup>3</sup> bakterii mezofilnych w osadach [16]. Stężenia patogenów w powietrzu na terenie oczyszczalni ścieków, są różne w zależności od pory roku [5, 6, 16, 17]. Zanieczyszczeniu powietrza dodatkowo mogą sprzyjać ptaki i owady transportujące drobniki osadów [16].

Korzeniewska [17, 20] podkreśla, że podawanie ogólnej liczby bakterii (mezofilnych i psychrofilnych) w powietrzu jako wskaźnika zanieczyszczenia atmosferycznego (zgodnie z Polskimi Normami [18, 19]), nie informuje o rzeczywistym zagrożeniu patogenami. Dlatego w celu oceny sanitarnego skażenia powietrza w pobliżu oczyszczalni, autorka w swoich pracach identyfikuje przede wszystkim bakterie kałowe

z rodziny: *Enterobacteriaceae* [16, 17, 20]. W otoczeniu analizowanych oczyszczalni ścieków (do 25–100 m od ogrodzenia) odnotowała sporadyczne występowanie bakterii mikroflory ściekowej: *Pantoea* spp. 3, *Pantoea* spp. 4, *Pantoea agglomerans* (0–50 JTK/m<sup>3</sup>) [20] oraz *Serratia* [17, 20]. W pomiarach Kuliga [21] obszar skażenia powietrza był większy, sięgając do 200 m od źródła jego emisji.

Kalisz i wsp. [22] zidentyfikowali w okolicy krat, piaskowników i poletek osadowych wysokie skażenie powietrza *Enterobacteriaceae* i *Pseudomonas fluorescens*, z których ostatnie obecne były również w odległości 150 m od ogrodzenia oczyszczalni ścieków, co mogło wskazywać na szeroki zakres emisji bioaerozolu [23].

Cyprowski ze wsp. [24] analizowali wyniki pomiarów aerozolu grzybowego z czterech oczyszczalni ścieków. Badania wykazały porównywalne stężenia grzybów pleśniowych (*Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Penicillium*) w powietrzu zarówno na terenie oczyszczalni jak i na przyległych terenach miejskich. Ich ilości nie przekraczały 5000 JTK/m<sup>3</sup> ustalonych normą [19]. Według Rylander [10] środowisko ściekowe nie zawsze sprzyja rozwojowi grzybów pleśniowych, skutkiem czego notuje się podobne poziomy zawartości (1→3)-β-D-glukanów w powietrzu na terenie oczyszczalni ścieków oraz w jej otoczeniu. Wymienione gatunki grzybów powszechnie zasiedlają środowisko naturalne, stąd ich występowanie w osadach ściekowych nie jest reprezentatywne. Filipowska z Korzeniewską [25, 26] wielokrotnie podkreślają w swoich pracach zasadność oznaczeń pleśni wchodzących w skład mikroflory środowiskowej względem drożdży oraz grzybów drożdżopodobnych, których obecność w ściekach jest charakterystyczna.

W jednej z prac zanotowały obecność drożdży (*Cryptococcus humicolus*) w ilości 0–2 × 10<sup>2</sup> JTK/m<sup>3</sup> w odległości do 200 m od ogrodzenia oczyszczalni ścieków. Analiza zanieczyszczenia powietrza wykazała, że głównymi źródłami emisji aerozolu biologicznego były reaktory biologiczne [26].

Autorki [25] oznaczały również liczebność grzybów pleśniowych, których maksymalne stężenia rzędu  $1,3 \times 10^4$  JTK/m<sup>3</sup> występowały latem przy lagunach. W odległości 25 m od ogrodzenia oczyszczalni ich ilość była porównywalna i wynosiła  $1,2 \times 10^4$  JTK/m<sup>3</sup>.

### SKUTKI ZDROWOTNE NARAŻENIA NA BIOAERAZOL

Występowanie drobnoustrojów chorobotwórczych w bioaerozolu zarówno na terenie oczyszczalni ścieków jak i w jej otoczeniu (do 200 m od źródła emisji

[5, 20, 21, 25, 26]) może inicjować procesy chorobowe: zaburzenia oddechowe, gastryczne, skórne oraz alergię i objawy ogólne [10, 27].

### Zaburzenia oddechowe

Do zgłaszanych dolegliwości należą: kaszel, podrażnienie nosa, astma alergiczna, zapalenie pęcherzyków płucnych na tle alergicznym, grzybiczne zapalenie płuc, toksyczne zapalenie płuc (ODTS – syndrom toksyczny pyłu organicznego; gorączka), chroniczne zapalenie oskrzeli. Wymienione skutki zdrowotne w głównej mierze spowodowane są oddziaływaniem endotoksyn wywołujących procesy zapalne w organizmie człowieka [6, 7]. Następuje aktywacja neutrofilów, które pełnią główną rolę w odpowiedzi odpornościowej przeciwko antygenom [10]. Nie bez przyczyny Komitet ds. Pyłu Organicznego ICOH w Criteria Document podaje normy stężenia endotoksyn w powietrzu przy narażeniu zawodowym: 10 ng/m<sup>3</sup> – zapalenie dróg oddechowych, 100 ng/m<sup>3</sup> – efekty systemowe, 200 ng/m<sup>3</sup> – toksyczne zapalenie płuc [7].

Według badań przeprowadzonych przez Thorna ze wsp. [27], pracownicy oczyszczalni ścieków znacznie częściej w porównaniu do grupy kontrolnej, zgłaszali w ciągu ostatnich 12 miesięcy objawy chorobowe ze strony układu oddechowego. Przeważało toksyczne zapalenie płuc (OR 5,4; CI 3,4–8,5), mogące wskazywać na duże ryzyko narażenia na pył organiczny (obecność endotoksyn). Ekspozowani informowali również o objawach grypopodobnych, które według autora mogły być związane z infekcją *Legionella pneumophila*. Dla porównania Aatamila ze wsp. [28], analizowała wpływ sąsiedztwa oczyszczalni ścieków na zdrowie okolicznych mieszkańców. Oddziaływanie odczuwalne było nawet w odległości do 3 km od centrum zakładu [28, 29]. Ze strony układu oddechowego, respondenci zgłaszali przede wszystkim: skrócenie oddechu oraz podrażnienie gardła. Wymienione zaburzenia pojawiały się 1,5-krotnie częściej wśród osób skarżących się na uciążliwość zapachową niż u pozostałych, co może świadczyć o wzajemnej zależności odczuwania odoru, a występowaniem konkretnych symptomów. Podobnie jak w przypadku pracowników oczyszczalni, charakterystyczne były również objawy związane ze stanem zapalnym: gorączka/dreszcze (OR 1,7, CI 1,1–2,5) [28].

Według badań Rylander [10] obecność β-D-glukanów (maksymalne stężenie 3,6 ng/m<sup>3</sup>) w oczyszczalniach ścieków nie stanowi dużego zagrożenia, pod warunkiem niskiej zawartości endotoksyn w powietrzu, gdyż razem potęgują efekt zapalny (100-krotny wzrost działania).

Długotrwała ekspozycja na działanie tego typu patogenów może również skutkować wzrostem częstości występowania nowotworów (krtani, nosa, zatok przynosowych). Badania przeprowadzone przez Hansena i wsp. [8] nie wykazały istotności statystycznej porównywanych grup pracowników oczyszczalni ścieków z grupą kontrolną (nieekspozowanych) względem ryzyka rozwoju nowotworów układu oddechowego, związanych z narażeniem na bioaerozol.

### Zaburzenia gastryczne

Do objawów ze strony układu pokarmowego, związanych z ekspozycją na czynniki biologiczne pochodzące z oczyszczalni ścieków należą: infekcje przewodu pokarmowego (biegunki, nudności, wymioty, bóle brzucha), zapalenie wątroby (wzrost aktywności enzymów wątrobowych AspAT, ALAT), choroby pasożytnicze (*Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*), zakażenie bakteriami Gram-ujemnymi (*Helicobacter pylori* – choroba wrzodowa żołądka; leptospiroza) [7, 8, 10, 27].

Badania kliniczne przeprowadzone w Kopenhadze na pracownikach oczyszczalni ścieków wykazały podwyższone poziomy leukocytów, immunoglobulin A oraz obecność przeciwciał anti-HAV (81%) i anti-HBV (9%). We krwi jednego z nich zanotowano również przeciwciała *Leptospira icterohaemorrhagica*, świadczące o obecnej bądź wcześniejszej infekcji tą bakterią [30]. Z kolei przegląd literaturowy, jakiego dokonał Glas i wsp. [13], jednoznacznie nie potwierdził dużego ryzyka narażenia na WZW typu A wśród pracowników oczyszczalni ścieków, ze względu na nieliczne przypadki kliniczne postaci ostrej. Badania seroepidemiologiczne, wykazujące obecność przeciwciał anti-HAV, sygnalizują jednak o przebytej infekcji u osób wcześniej nie zaszczepionych, nawet jeśli choroba miała przebieg łagodny.

Według badań przeprowadzonych przez szwedzkich naukowców znacząco częściej u pracowników oczyszczalni ścieków niż u grupy kontrolnej występowały zaburzenia gastryczne: biegunki (OR 10,9; CI 5,1–23,4) oraz pojawiające się 1–2 razy w tygodniu nudności (OR 8,5; CI 2,7–27,4). Należy podkreślić, że niespecyficzne objawy żołądkowo-jelitowe pojawiały się tylko u osób ekspozowanych na ścieki (członkowie rodzin nie zgłaszali podobnych dolegliwości) [27]. Zaburzenia ustępowały często po opuszczeniu stanowiska pracy, stąd wnioski o typowo praco-zależnych symptomach chorobowych [10, 27]. Rylander [10] tłumaczy ich występowanie ekspozycją na endotoksyny, które dostają się do przewodu pokarmowego, powodując reakcje zapalne błony śluzowej jelita.



Badania prowadzone przez Hansena i wsp. [8] dowodzą zwiększonej podatności pracowników oczyszczalni na pierwotnego raka wątroby (RR 8,9; CI 1,5–51,5). Autorzy tłumaczą to narażeniem na hepatotoksyczną aflatoksynę B<sub>1</sub> pochodzącą z gatunków grzybów: *Aspergillus*, infekcją *hepatitis* B i C lub ekspozycją na kancerogenne czynniki chemiczne. Ponadto Thorn i Friis [31, 32] zauważyli wzrost zachorowalności na nowotwór żołądka, którego występowanie wiązali z narażeniem na obecną w ściekach bakterię: *Helicobacter pylori*.

### Zaburzenia skórne

Doniesienia literaturowe wskazują, że pracownicy oczyszczalni ścieków zgłaszają dolegliwości związane z podrażnieniem zewnętrznych (ochronnych) powłok organizmu: skóry, błon śluzowych oczu i nosa, zapalenie spojówek [6, 10]. Tego typu objawy najprawdopodobniej spowodowane są oddziaływaniem endo- i egzotoksyn oraz produktów rozkładu materii organicznej: octanu butylu, siarkowodoru, metanu, amoniaku [8, 11]. Metabolity niektórych grzybów tzw. „lotne związki organiczne” (VOCs: formaldehyd, 1-3-butadien, aceton, kwas octowy) mają właściwości drażniące i dlatego mogą inicjować podobne symptomy [33].

### Zaburzenia ogólne

Pracownicy wielu przebadanych oczyszczalni ścieków skarżyli się na: bóle i zawroty głowy, problemy z koncentracją, nadmierne zmęczenie oraz złe samopoczucie. Rylander ze wsp. [10, 27] konsekwentnie tłumaczy tego typu objawy ekspozycją na endotoksyny zawarte w pyłe organicznym, ze względu na ich prozapalne właściwości. Następuje uwolnienie mediatorów stanu zapalnego, które przez krew transportowane są do mózgu, inicjując zaburzenia ze strony centralnego układu nerwowego [10]. Wśród przebadanych szwedzkich pracowników oczyszczalni ścieków przeważały symptomy nadmiernego zmęczenia (OR 4,9; CI 3,5–6,8) [27]. Dodatkowymi czynnikami wzmagającymi podobne objawy mogą być substancje chemiczne pochodzące z rozkładu materii organicznej [10]. Autorzy analogicznie wyjaśniają raportowane przez wielu pracowników: bóle mięśni i stawów. Sugerują postępujący proces zapalny, jednak aktualnie brak badań potwierdzających obecność klinicznych markerów procesu zapalnego [27]. Podobne zaburzenia ogólne przeważały wśród mieszkańców przyległych terenów fińskich oczyszczalni ścieków: bóle mięśni i stawów oraz nadmierne zmęczenie. Co ciekawe iloraz szans pojawienia się wymienionych objawów był niezmienny: OR 1,5, świadcząc o ich współwystępo-

waniu w stopniu równym w grupie osób ekspozowanych [28].

Dotychczasowe doniesienia literaturowe dość ubogo poruszają kwestię narażenia okolicznych mieszkańców na bioaerzol, pochodzący z oczyszczalni ścieków. Badania skutków zdrowotnych, będących następstwem omawianych ekspozycji, skupiają się w głównej mierze na zawodowo narażonych pracownikach. Ze względu na duże podobieństwo źródła zanieczyszczeń powietrza, porównywalne są również prace opisujące zasięg i wpływ bioaerozolu na mieszkańców pobliskich kompostowni. Według badań Herr ze wsp. [34] najwyższe stężenia mikroorganizmów ( $> 10^5$  JTK/m<sup>3</sup>) odnotowano w odległości do 200 m od kompostowni. Pobliscy mieszkańcy, w porównaniu do grupy nieekspozowanej, skarżyli się na dolegliwości ze strony dróg oddechowych (kaszel w nocy OR 6,59; CI 2,57–17,73, zapalenie oskrzeli OR 3,59; CI 1,0–9,4) oraz nadmierne zmęczenie (OR 4,27; CI 1,56–12,15). Drobnoustroje wykrywane były nawet w odległości 550 m od terenu kompostowni w stężeniu  $< 10^3$  JTK/m<sup>3</sup> (respondenci nadal zgłaszali zaburzenia zdrowotne). Mimo, że nie wykonano badań klinicznych obecności specyficznych przeciwciał, można przypuszczać, że zmierzone stężenia drobnoustrojów w powietrzu wiążą się z inicjacją stanów zapalnych dróg oddechowych zgłaszanych przez mieszkańców.

Skutki zdrowotne wynikające z ekspozycji na bioaerzol, opisywane są także w pracach związanych z sąsiedztwem pól nawożonych osadami ściekowymi. Według badań przeprowadzonych przez Khudera [35], znaczące różnice między grupą ekspozowaną a grupą kontrolną dotyczyły takich objawów jak: podrażnienie oczu i skóry, osłabienie, zaburzenia trawienne. Wśród okolicznych mieszkańców częściej występowały ostre i przewlekłe choroby płuc, oskrzeli, zapalenia stawów oraz lambliozy. Nie wszystkie jednak wyniki badań potwierdzają omawiane zagrożenia. Analiza literaturowa przeprowadzona przez Peppera ze wsp. [36], nie wykazała istotnej szkodliwości zdrowotnej, wynikającej z wykorzystania osadów ściekowych w rolnictwie.

### PODSUMOWANIE

Pracownicy oczyszczalni ścieków są szczególnie narażeni na działanie bioaerozolu zwłaszcza przy obiektach związanych z osadami. Zakres emisji patogenów sięga do 200 m poza teren oczyszczalni, stwarzając potencjalnie zagrożenie dla okolicznych mieszkańców. Według badań Aatamila [28, 29], w których wyznacznikiem zakresu oddziaływania oczyszczalni

ścieków był drażniący zapach, skutki zdrowotne odczuwalne były nawet w odległości do 3 km. Intensywność emisji mikroorganizmów nie zależy od pór roku, ponieważ w różnych oczyszczalniach ścieków notuje się odmienne okresy największych stężeń patogenów. Na stopień biologicznego zanieczyszczenia powietrza wpływają nie tylko warunki atmosferyczne, ale przede wszystkim poziom stosowanych technologii i hermetyzacji obiektów oczyszczalni. Najczęściej zgłaszanymi dolegliwościami są objawy ze strony układu oddechowego, pokarmowego oraz objawy ogólne. Ich występowanie związane jest z ekspozycją na endotoksyny. Przy analizie wpływu mikroorganizmów na zdrowie człowieka należy brać pod uwagę przede wszystkim oddziaływanie bakterii kałowych oraz drożdży, które zasiedlają mikroflorę ściekową i osadową.

## PIŚMIENNICTWO

1. Wiesmann U, Choi I. S., Dombrowski E. M.: Historical Development of Wastewater Collection and Treatment (w:) Fundamentals of Biological Wastewater Treatment. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2007: 1-20.
2. Marsalek J.: Evolution of urban drainage: from Cloaca Maxima to environmental sustainability (w:) Dans G. Rasulo, S. Artina, A. Paoletti, G. Del Giudice, R. Della Morte: Proceedings of the Aqua e citta (Water and the City) Conference, Sorrento, Italy 2005: 79-81.
3. Burian S. J., Edwards F. G.: Historical Perspectives of Urban Drainage. Global Solutions for Urban Drainage. Proceedings of the 9th International Conference on Urban Drainage, Portland/Oregon, USA 2002: 1-16.
4. Douwes J., Thorne P., Pearce N. i wsp.: Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects. Ann Occup Hyg 2003; 47: 187-200.
5. Korzeniewska E.: Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants – a review. Front Biosci (Schol Ed) 2011; 3: 393-407.
6. Michałkiewicz M., Pruss A., Dymaczeński Z. i wsp.: Wpływ hermetyzacji wybranych etapów oczyszczania ścieków na mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza. III Kongres Inżynierii Środowiska 2009; Tom 2: 135-143.
7. Cyprowski M., Krajewski J. A.: Czynniki szkodliwe dla zdrowia występujące w oczyszczalniach ścieków komunalnych. Med Pr 2003; 54: 73-80.
8. Hansen E. S., Hilden J., Klausen H. i wsp.: Wastewater exposure and health – a comparative study of two occupational groups. Occup Environ Med 2003; 60: 595-598.
9. Cyprowski M., Buczyńska A., Szadkowska-Stańczyk I.: Ocena narażenia na bioaerole pracowników kanalizacji. Med Pr 2006; 57: 525-530.
10. Rylander R.: Health effects among workers in sewage treatment plants. Occup Environ Med. 1999; 56: 354-357.
11. Dutkiewicz J., Górny R. L.: Biologiczne czynniki szkodliwe dla zdrowia – klasyfikacja i kryteria oceny narażenia. Med Pr 2002; 53: 29-39.
12. Kozajda A., Szadkowska-Stańczyk I.: Wybrane dolegliwości i choroby oraz wiedza o narażeniu biologicznym i przestrzeganie zasad higieny u pracowników sortowni odpadów komunalnych. Med Pr 2009; 60: 491-499.
13. Glas C., Hotz P., Steffen R.: Hepatitis A in workers exposed to sewage: a systematic review. Occup Environ Med 2001; 58: 762-768.
14. Gołofit-Szymczak M., Zapór L.: Zagrożenia biologiczne w oczyszczalniach ścieków komunalnych. Bezpieczeństwo Pracy 2007; 3: 26-28.
15. Oppliger A., Hilfiker S., Vu Duc T.: Influence of seasons and sampling strategy on assessment of bioaerosols in sewage treatment plants in Switzerland. Ann Occup Hyg. 2005; 49: 393-400.
16. Gotkowska-Płachta A., Filipowska Z., Korzeniewska E. i wsp.: Zanieczyszczenia mikrobiologiczne powietrza atmosferycznego na terenie i w otoczeniu oczyszczalni ścieków z systemem stawów napowietrzanych i stabilizacyjnych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie 2008; t. 8: 1(22): 83-98.
17. Korzeniewska E., Filipowska Z., Gotkowska-Płachta A. i wsp.: Bakteriologiczne zanieczyszczenie powietrza na terenie i w otoczeniu oczyszczalni ścieków z systemem filtrów gruntowo-roślinnych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie 2008; t. 8: 1(22): 161-173.
18. PN-89/Z-04111/02.
19. PN-89/Z-04111/03.
20. Korzeniewska E., Filipowska Z., Gotkowska-Płachta A.: Miejska oczyszczalnia ścieków z komorami osadu czynnego, napowietrzanymi aeratorami typu CELPOX jako emitorem bakterii z rodziny Enterobacteriaceae do powietrza. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych IOŚ 2007b; 32: 184-189.
21. Kulig A.: Metody pomiarowo-obliczeniowe w ocenach oddziaływania na środowisko obiektów gospodarki komunalnej. Ofic. Wydaw. PW, Warszawa 2004: 208.
22. Kalisz L., Kaźmierczuk M., Sałbut J.: Miejska oczyszczalnia ścieków jako źródło mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza. Ochr. Środ. Zasob. Natur. 1994; 7: 33-55.
23. Błaszczak M. K.: Mikrobiologia Środowiska. PWN, Warszawa 2010: 82, 159, 164, 189, 361.
24. Cyprowski M., Sowiak M., Soroka P. M. i wsp.: Ocena zawodowej ekspozycji na aerole grzybowe w oczyszczalniach ścieków. Med Pr 2008; 59: 365-371.
25. Filipowska Z., Gotkowska-Płachta A., Korzeniewska E. i wsp.: Zanieczyszczenia mikologiczne powietrza na terenie i w otoczeniu miejskiej oczyszczalni ścieków z komorami osadu czynnego napowietrzanymi aeratorami typu CELPOX. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych IOŚ 2007a; 32: 240-245.
26. Korzeniewska E., Filipowska Z., Gotkowska-Płachta A. i wsp.: Determination of emitted airborne microorganisms from a BIO-PAK wastewater treatment plant. Water Res 2009; 43: 2841-1851.
27. Thorn J., Beijer L., Rylander R.: Work related symptoms among sewage workers: a nationwide survey in Sweden. Occup Environ Med. 2002; 59: 562-566.
28. Aatamila M., Verkasalo P. K., Korhonen M. J. i wsp.: Odour annoyance and physical symptoms among residents living near waste treatment centres. Environ Res. 2011; 111: 164-170.
29. Aatamila M., Verkasalo P. K., Korhonen M. J. i wsp.: Odor annoyance near waste treatment centers: a population-based study in Finland. J Air Waste Manag Assoc. 2010; 60: 412-418.

30. Skinhoj P, Hollinger FB, Hovind-Hougen K. i wsp.: Infectious liver diseases in three groups of Copenhagen workers: correlation of hepatitis A infection to sewage exposure. Arch Environ Health 1981; 36: 139-143.
31. Thorn J, Kerekes E.: Health effects among employees in sewage treatment plants: A literature survey. Am. J. Ind. Med. 2001; 40: 170-179.
32. Friis L, Edling C., Hagmar L.: Mortality and incidence of cancer among sewage workers: a retrospective cohort study. Br. J. Ind. Med. 1993; 50: 653-657.
33. Vilavert L, Nadal M., Figueras M. J. i wsp.: Volatile organic compounds and bioaerosols in the vicinity of a municipal waste organic fraction treatment plant. Human health risks. Environ Sci Pollut Res 2012; 19: 96-104.
34. Herr C. E. W., zur Nieden A., Jankofsky M. i wsp.: Effects of bioaerosol polluted outdoor air on airways of residents: a cross sectional study. Occup Environ Med 2003; 60: 336-342.
35. Khuder S., Milz S. A., Bisesi M. i wsp.: Health survey of residents living near farm fields permitted to receive biosolids. Arch Environ Occup Health. 2007; 62: 5-11.
36. Pepper I. L., Zerzghi H., Brooks J. P. i wsp.: Sustainability of Land Application of Class B Biosolids. J Environ Qual. 2008; 37: 58-67.

*Adres do korespondencji:*

*mgr Aleksandra Michalak  
Katedra i Zakład Higieny  
Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich  
we Wrocławiu  
ul. J. Mikulicza-Radeckiego 7,  
50-368 Wrocław  
e-mail: [aleksandra.michalak@am.wroc.pl](mailto:aleksandra.michalak@am.wroc.pl)  
tel. 71 784 15 07*