

Marcin Cyprowski
Jan A. Krajewski

CZYNNIKI SZKODLIWE DLA ZDROWIA WYSTĘPUJĄCE W OCZYSZCZALNIACH ŚCIEKÓW KOMUNALNYCH*

HARMFUL AGENTS IN MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Z Zakładu Środowiskowych Zagrożeń Zdrowia
Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera w Łodzi
Kierownik zakładu: dr hab. S. Tarkowski

STRESZCZENIE W pracy przedstawiono stan wiedzy dotyczącej zagrożeń chemicznych i biologicznych występujących w ściekach komunalnych oraz ich oddziaływanie na zdrowie ludzi zawodowo zatrudnionych w oczyszczalniach ścieków. W Polsce problem ten jest mało poznany. Pracownicy oczyszczalni ścieków są narażeni na: metale ciężkie (Pb, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni), wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), polichlorowane bifenyle (PCB), lotne substancje organiczne, siarkowodor oraz na czynniki biologiczne, do których należą bakterie, wirusy i grzyby oraz wytwarzane przez nie endotoksyny i glukany. Najczęściej stwierdzanymi zaburzeniami zdrowia pracowników oczyszczalni ścieków są: infekcje układu oddechowego, pokarmowego, podrażnienia oczu i skóry, bóle głowy oraz złe samopoczucie. Ocena warunków higienicznych na stanowiskach pracy jest utrudniona przez brak normatywnych higienicznych dla mikroorganizmów i endotoksyn w powietrzu na stanowiskach pracy. W Polsce do chwili obecnej nie przeprowadzono oceny narażenia u pracowników oczyszczalni ścieków komunalnych. Szacuje się, że problem ten dotyczy kilkunastotysięcznej grupy zawodowej. Med. Pr. 2003; 54 (1): 73–80

SŁOWA KLUCZOWE: oczyszczalnie ścieków, narażenie zawodowe, czynniki chemiczne, bakterie, endotoksyny, (1→3)-β-D-glukany

ABSTRACT Chemical and biological hazards and health effects of exposure to some selected agents on the workers of municipal wastewater treatment plants are reported. This issue has not as yet been thoroughly analyzed in Poland. The workers of wastewater treatment plants are exposed to: heavy metals (Pb, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), polychlorinated biphenyls (PCB), volatile organic matter, hydrogen sulfide, organic agents, including bacteria, viruses and fungi, organic-produced endotoxins and glucans. The most frequent disorders reported by the wastewater – treatment workers comprise respiratory and gastrointestinal infections, ocular and dermal irritations, headache and discomfort. The assessment of hygienic conditions at individual workplaces is difficult because of lack of hygiene standards for airborne microorganisms and endotoxins. Up to now, the exposure of workers employed in municipal wastewater treatment plants has not been assessed in Poland. The number of the affected workers is estimated at 11 000–19 000 people. Med Pr 2003; 54 (1): 73–80

KEY WORDS: wastewater treatment plants, occupational exposure, chemical agents, bacteria, endotoxins, (1→3)-β-D-glucans

Otrzymano: 21.11.2002

Zatwierdzono: 6.01.2003

Adres autorów: Św. Teresy 8, 90-950 Łódź, e-mail: marc@imp.lodz.pl

WSTĘP

Ustawa Prawo wodne (1) definiuje ścieki jako mieszaninę:

- ścieków bytowych – czyli ścieków z budynków przeznaczonych na pobyt ludzi, z osiedli mieszkaniowych oraz z terenów usługowych, powstających w szczególności w wyniku ludzkiego metabolizmu oraz funkcjonowania gospodarstw domowych,

- ścieków przemysłowych – czyli ścieków odprowadzanych z terenów, na których prowadzi się działalność handlową lub przemysłową albo składową, niebędących ściekami bytowymi lub wodami opadowymi,

- wód opadowych i roztopowych ujętych w systemy kanalizacyjne, pochodzących z powierzchni zanieczyszczonych, w tym z centrów miast, terenów przemysłowych i składowych, baz transportowych oraz dróg i parkingów o trwałej nawierzchni.

Różnice jakościowe i ilościowe w składzie ścieków zależne są od miejsca ich powstania. Ścieki bytowe zawierają zdyspergowane w wodzie substancje organiczne i nieorga-

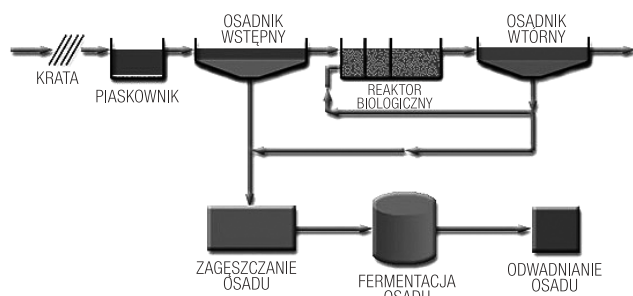
niczne, takie jak: fekalia, resztki i odpadki produktów żywnościowych, piasek, popiół i żużel z pieców domowych, mydła i inne środki piorące, szmaty, papiery itp. Ścieki takie zawierają dużą ilość związków biogenych, w skład których wchodzi: azot, fosfor i potas. Zanieczyszczenia zawarte w ściekach przemysłowych zależą od rodzaju surowców używanych do produkcji i od technologii zastosowanej w procesie produkcyjnym. Wśród nich mogą się znajdować metale ciężkie, związki organiczne i nieorganiczne. Ścieki powstałe na skutek opadów atmosferycznych mogą zawierać: aerozole obecne w powietrzu, śmieci uliczne m.in. piasek i liście oraz zanieczyszczenia powstałe na terenie zakładów pracy (2).

Z danych publikowanych przez Główny Urząd Statystyczny (3) wynika, że w Polsce w roku 2000 do rzek odprowadzano około 1500 hm³ ścieków komunalnych. Wzrost cen za dostawę wody i oczyszczanie ścieków oraz spadek produkcji przemysłowej spowodowały spadek zużycia wody w ciągu 10 lat o 30–40%.

Oczyszczanie ścieków odbywa się w specjalnie do tego celu przystosowanych obiektach, w których następuje zatrzymanie zanieczyszczeń i utylizacja osadów ściekowych (2). Na rycinie 1 przedstawiono schemat klasycznej oczyszczalni

* Praca wykonana w ramach zadania finansowanego z dotacji na działalność statutową nr IMP 3.1. pt. „Ocena stanu zdrowia pracowników oczyszczalni ścieków zatrudnionych w narażeniu na czynniki chemiczne i biologiczne”. Kierownik zadania: dr J.A. Krajewski.





Ryc. 1. Schemat komunalnej oczyszczalni ścieków wg (4).

przeznaczonej do oczyszczania ścieków komunalnych (4). Do podstawowych elementów oczyszczalni należą: kraty, piaskowniki, osadniki wstępne, komory z osadem czynnym, osadniki wtórne, zagęszczarki osadów ściekowych, komory fermentacyjne oraz maszyny do odwadniania osadów.

Liczba oczyszczalni ścieków komunalnych w Polsce w ostatniej dekadzie wyraźnie wzrosła. Według GUS (3) w 2000 r., w Polsce funkcjonowało 2417 oczyszczalni ścieków, podczas gdy dziesięć lat wcześniej było ich 585.

Celem pracy jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat zagrożeń chemicznych i biologicznych występujących na stanowiskach pracy w oczyszczalniach ścieków komunalnych.

PRACOWNICY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW JAKO GRUPA ZAWODOWA

Ocenia się, że przeciętnie w oczyszczalni o przepustowości $\sim 5000 \text{ m}^3/\text{dobę}$ zatrudnionych jest 10 osób. Liczba ta wzrasta wraz z wielkością obiektu i może dojść nawet do 200 osób (np. Grupowa Oczyszczalnia Ścieków w Łodzi). Łącznie grupę zawodową pracowników oczyszczalni ścieków w Polsce szacuje się na kilkanaście tysięcy ludzi. Narażenie zawodowe osób zatrudnionych w oczyszczalni zależy w dużej mierze od technicznego zaawansowania procesu oczyszczania. W oczyszczalniach opartych na starszych technologiach (szczególnie w oczyszczalniach mechanicznych) pracownicy wiele czynności wykonują ręcznie. W nowych obiektach, proces oczyszczania ścieków jest w większości zautomatyzowany, a praca ludzi sprowadza się w dużej mierze do nadzoru urządzeń.

W oczyszczalni ścieków pracowników można podzielić na grupy zawodowe zgodnie z wykonywanymi czynnościami na oddziałach:

- mechanicznego oczyszczania ścieków,
- biologicznego oczyszczania ścieków,
- przeróbki osadów ściekowych,
- pozostałych (np. grupy remontowe).

Pierwsze trzy grupy wykonują swoje czynności na określonym obszarze oczyszczalni i praktycznie tylko w przypadkach awarii następuje zmiana miejsca pracy. Grupa czwarta to najczęściej ekipy remontowe (elektromonterzy, ślusarze),

osoby przebywające, w zależności od konieczności, w różnych punktach procesu oczyszczania ścieków.

CZYNNIKI SZKODLIWE DLA ZDROWIA LUDZI WYSTĘPUJĄCE PODCZAS OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW KOMUNALNYCH

Pracownicy oczyszczalni ścieków narażeni są na działanie różnych czynników chemicznych i biologicznych. Do czynników chemicznych zalicza się: metale ciężkie (5–10), lotne substancje organiczne (11–13) oraz inne związki organiczne, między innymi, polichlorowane bifenyle – PCB (7,8,14), dioksyny – PCDD i PCDF (7,8), wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne – WWA (7,8,15). Wśród czynników biologicznych wyróżnia się: bakterie (16–31), grzyby (27,29), wirusy (5,29,32–40), pierwotniaki (5,41) oraz aerozol zawieszony w powietrzu, w którym między innymi występują endotoksyny i glukany (5,16,17,19–22,29,30,42).

Opublikowane w Polsce prace dotyczyły technologii oczyszczania ścieków (2,43), obróbki osadów ściekowych (9,10) oraz analizy wpływu obiektów oczyszczalni ścieków na środowisko (11,12,15,27,28,44–46). Niewielka część prac porusza problem wpływu zanieczyszczeń na zdrowie pracowników (29,31).

Czynniki chemiczne

W raporcie wydanym w roku 2001 przez Unię Europejską pt. „Zanieczyszczenia w ściekach miejskich i osadach ściekowych” (7) przeprowadzono analizę zanieczyszczeń chemicznych uznanych za niebezpieczne dla człowieka. Spośród zanieczyszczeń nieorganicznych najwięcej uwagi poświęcono metalom ciężkim, takim jak: kadm, chrom (III) i (VI), miedź, rtęć, nikiel, ołów oraz cynk. Metale ciężkie w ściekach miejskich pochodzą z gospodarstw domowych (baterie, farby), z zakładów produkcyjnych (przemysł elektrotechniczny, skórzany, produkcja farb, lakierów i tworzyw sztucznych, materiały budowlane), a także jako następstwo rozwijającej się motoryzacji. Stężenia poszczególnych pierwiastków w ściekach miejskich mieszczą się w szerokim zakresie wartości. W raporcie (7) przedstawiono stężenia metali ciężkich w ściekach pochodzących z Monachium: Pb 0,1–13 mg/l; Cu 0,2–26 mg/l; Zn 0,1–133 mg/l; Cd 0,03–1,3 mg/l; Cr 0,03–20 mg/l; Ni 0,04–7,3 mg/l. W Polsce, w łódzkiej oczyszczalni ścieków w 2001 r. średnie stężenie cynku w ściekach surowych wynosiło 0,65; miedzi 0,070; a niklu 0,067 mg/l. Redukcja stężenia wymienionych metali w wodzie wprowadzanej do rzeki wynosiła odpowiednio: 87%, 81% i 41%.

Metale ciężkie w procesie oczyszczania ścieków są wytrącane i deponowane w osadach. Wydajność tego procesu jest najwyższa dla ołowiu (80%), a najniższa dla niklu (40%). Średnie stężenia metali ciężkich w osadach ściekowych w różnych krajach przedstawiono w tabeli I.

W ściekach surowych rozpoznano około 6000 związków organicznych, z czego znaczna część podlega łatwej biodegradacji w oczyszczalniach ścieków. Wśród nich znajdują się



Tabela I. Zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych (mg/kg SM) w różnych krajach europejskich (7)

	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni
Wielka Brytania	221,5	562	778	3,5	159,5	58,5
Niemcy	67,7	275	834	1,5	50	23,3
Francja	119,9	322	837	4,1	69,4	35,5
Szwecja	48,2	522	620,5	1,5	38,4	19,3
Polska	211,8	237,5	3641	9,93	144,2	41,1

jednak grupy związków uznanych za szczególnie niebezpieczne dla zdrowia ludzi. Są to wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), polichlorowane bifenyle (PCB), ftalan di-2-etyloheksylu (DEHP) oraz polichlorowane dibenzodioskyny i dibenzofurany (PCDD i PCDF), które noszą wspólną nazwę trwałych związków organicznych (TZO). Wyżej wymienione substancje powszechnie uważa się za bardzo silne trucizny, co znalazło odzwierciedlenie w proponowanych dopuszczalnych stężeniach w różnych elementach środowiska oraz produktach spożywczych. Przypisuje się im działanie rakotwórcze, mutagenne i układowe. Występowanie tych objawów jest zależne od drogi podania i wielkości dawki pobranej.

Z kilku powodów, najważniejszym jest koszt wykonania analizy, liczba dostępnych informacji o TZO w ściekach jest mała. W tabeli II przedstawiono stężenia wybranych grup trwałych związków organicznych zmierzone przy wpływie do oczyszczalni. Rozkład TZO w ściekach przebiega wolno, połowiczny rozkład w wodzie PCB, PCDF i PCDD wynosi kilka lat. Rozkład prostych WWA jest krótszy (ok. 80–600 godzin), ale i tak zbyt długi dla efektywnego wyeliminowania ich ze ścieków w procesach biologicznego oczyszczania. Często stosowanym sposobem usunięcia tych związków ze ścieków jest dodanie odpowiednich koagulantów np. siarczanu żelaza, czy węgla aktywnego, dzięki którym wytrącają się w postaci osadów. W tabeli III przedstawiono średnie stężenia wybranych związków organicznych w osadach ściekowych.

Ścieki transportowane zamkniętą siecią kanalizacyjną oraz kolektorami, dopływając do oczyszczalni ścieków uwalniają w otwartych zbiornikach zawarte w nich gazy: siarkowódór, lotne związki organiczne (LZO), amoniak oraz dwutlenek węgla. Ich obecność jest następstwem zachodzących procesów gnilnych i fermentacyjnych, przy ograniczonym dostępie tlenu i zwiększonej temperaturze.

Siarkowódór jest cięższy od powietrza i dlatego najwyższe stężenia odnotowuje się w niższej położonych częściach pomieszczeń. Melbostad i wsp. (20) podają, że średnie stężenie H_2S w oczyszczalni ścieków nie przekraczało wartości 1 ppm, czyli $1,4 \text{ mg/m}^3$. Jednak odnotowana wartość maksymalna wynosiła 45 ppm (63 mg/m^3). Kangas i wsp. (47), prowadząc badania w 18 miejskich oczyszczalniach ścieków w Finlandii, stwierdzili stężenia siarkowodoru w przedziale $0,07\text{--}53 \text{ mg/m}^3$, z czego najwyższe w pomieszczeniach z prasami do odwadniania osadów. Biorąc pod u-

Tabela II. Zawartość wybranych grup związków organicznych ($\mu\text{g/l}$) w ściekach dopływających do oczyszczalni w różnych krajach europejskich (7)

	WWA	DEPH	PCDD/F
Austria	147–625	4,4	bd
Włochy	bd	bd	0,024–16,9
Wielka Brytania	5,6–349	bd	bd

bd – brak danych.

Tabela III. Zawartość wybranych związków organicznych w osadach ściekowych w różnych krajach (7,8)

	WWA		PCB	DEPH	PCDD/F
	mg/kg SM		mg/kg SM	mg/kg SM	ng/kg SM
	b[a]p	I[1,2,3-cd]p			
Austria	0,30	0,27	0,07	bd	bd
Niemcy	0,35	0,30	0,15	20–60	19
Dania	0,15	0,67	0,05	38	bd
USA	13,80	bd	1,46	110	90,4

bd – brak danych.

b[a]p – Benzo(a)piren.

I[1,2,3-cd]p – Indeno(1,2,3 cd)piren.

wagę, że najwyższe dopuszczalne stężenie NDSCh siarkowodoru wynosi $20 \mu\text{g/m}^3$, przebywanie ludzi w miejscu, gdzie nagromadził się H_2S może być przyczyną zatrucia ze skutkiem śmiertelnym.

Miejscami o największych stężeniach LZO są przede wszystkim budynki krat, dokąd dopływają surowe ścieki. Badania przeprowadzone w trzech polskich oczyszczalniach ścieków wykazują, że wartości średnie stężeń w budynku krat dla takich związków jak: etylobenzen, p-ksylen oraz m-ksylen kształtowały się na poziomie $30\text{--}50 \mu\text{g/m}^3$; dla toluenu $100 \mu\text{g/m}^3$, a n-butanolu $329 \mu\text{g/m}^3$. Lemasters i wsp., (13) podają, że w USA stężenia niektórych związków w powietrzu przy wlocie do oczyszczalni kształtowały się następująco: benzenu $0,3\text{--}25,8 \text{ mg/m}^3$; toluenu $0,01\text{--}20,6 \text{ mg/m}^3$; ksylenów $0,01\text{--}5,2 \text{ mg/m}^3$; metyloetyloketonu $0,01\text{--}16,8 \text{ mg/m}^3$.

Czynniki biologiczne

Ścieki są środowiskiem, w którym występują drobnoustroje i produkty ich rozpadu: wirusy, pierwotniaki, grzyby, bakterie, płazińce, tasiemce oraz endotoksyny i glukany. W tabeli IV przedstawiono różne czynniki biologiczne, które były wykrywane w oczyszczalniach ścieków i są uznane za szkodliwe dla zdrowia ludzi. Narażenie pracowników na drobnoustroje może nastąpić drogą oddechową, pokarmową oraz przez skórę.

Stężenia drobnoustrojów w środowisku oczyszczalni ścieków znajdują się w bardzo szerokim zakresie stężeń. Lundholm i Rylander (18) oznaczyli w powietrzu bakterie Gram-



Tabela IV. Biologiczne czynniki chorobotwórcze wykrywane w oczyszczalniach ścieków

Grupa organizmów	Rodzaj/gatunek	Piśmiennictwo
Wirusy	Enterowirusy	5, 29, 32, 38
	Adenowirusy	5, 32, 33, 39
	Parwowirusy	5
	Rotawirusy	5, 33
	WZW-A	5, 29, 33, 37, 36, 39, 40
	WZW-B	33, 34
	WZW-C	33, 35
Pierwotniaki	<i>Entamoeba histolytica</i>	5, 29
	<i>Giardia lamblia</i>	5, 29, 30
Grzyby pleśniowe	<i>Aspergillus</i> spp.	27
	<i>Cryptococcus</i> spp.	27
	<i>Candida</i> spp.	27
Bakterie mezofilne	<i>Enterobacter</i> spp.	16, 18, 27, 29, 31
	<i>Escherichia coli</i>	16, 18, 27, 29, 31
	<i>Klebsiella</i> spp.	16, 18, 23, 27, 29
	<i>Serratia</i> spp.	16, 18, 31
	<i>Aeromonas</i> spp.	16, 18, 27, 29, 31
	<i>Pseudomonas</i> spp.	16, 18, 23, 27, 30, 31
	<i>Bacillus</i> spp.	27, 30
	<i>Proteus</i> spp.	27, 29
	<i>Streptococcus</i> spp.	27, 30, 31
	<i>Staphylococcus</i> spp.	27, 29, 30, 31
	<i>Shigella</i> spp.	23, 24, 29
	<i>Legionella</i> spp.	24, 29
	<i>Acinetobacter</i> spp.	16, 18
	<i>Clostridium tetani</i>	23
	<i>Leptospira icterohaemorrhagiae</i>	5, 29
Bakterie termofilne	<i>Campylobacter</i> spp.	24, 26
	Actinomycetes	31
Nicienie i tasiełce		5, 29
Endotoksyny		16, 17, 19, 20, 22, 29, 30, 42

ujemne w ilościach od 10 do 10⁵ cfu/m³ (cfu – colony forming units). Wśród najczęściej oznaczonych gatunków bakterii były: *Klebsiella pneumoniae* (5–20% wszystkich bakterii Gram-ujemnych), *Escherichia coli*, *Enterobacter agglomerans*, *Aeromonas hydrophila* i różne szczepy *Pseudomonas*. Kocwa-Haluch (30) w swoich badaniach opisuje stężenie bakterii w powietrzu rzędu 5 • 10³ cfu/m³. Do najczęściej spotykanych rodzajów bakterii należały: *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Escherichia*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Proteus*, *Staphylococcus* oraz *Klebsiella*. Laitinen i wsp. (17) stwierdzili, że stężenie żywych kolonii bakterii Gram-ujemnych w powietrzu sięga 8700 cfu/m³. Ponadto zauważyli, że wielkość oznaczonego stężenia bakterii zależała od rodzaju zastosowanej pożywki, najwięcej bakterii oznacza się przy użyciu pożywki EMB.

Stampi i wsp. (23) przeprowadzili badania w oczyszczalni ścieków w Bolonii we Włoszech. Analizując 201 prób wykazali, że w najwyższych stężeniach występowały bakterie fekalne z grupy Coli – 14 cfu/p/h (liczba utworzonych kolonii na płytce w ciągu godziny), *Pseudomonas* spp. – 11 cfu/p/h, *Shigella* spp. – 11 cfu/p/h oraz *Legionella* spp. – 2 cfu/p/h.

Laitinen i wsp. (16) pobierali próby powietrza w różnych miejscach oczyszczalni ścieków. Wyniki wskazują, że najwyższe stężenia występowały w części oczyszczalni w której odbywał się przerób osadów 2,5 • 10⁴ cfu/m³, zaś najniższe w przepompowni ścieków 5,6 • 10² cfu/m³.

Kalisz i wsp. (27) biorąc pod uwagę dwie rodziny bakterii występujących w ściekach: *Enterobacteriaceae* i *Pseudomo-*



nadaceae stwierdzili, iż najbardziej zanieczyszczone powietrze jest w pobliżu poletek osadowych, krat i piaskowników.

Wlazło i wsp. (30) określili różnice w wielkości stężeń bakterii między komorami napowietrzania a przepompownią. Stężenie bakterii Gram-ujemnych przy komorach napowietrzania wynosiło 1086 cfu/m³ i było około 80 razy większe niż w przepompowni ścieków (13 cfu/m³).

Spośród różnych gatunków bakterii Gram-ujemnych na uwagę zasługuje *Helicobacter pylori*, odpowiedzialny między innymi, za chorobę wrzodową oraz raka żołądka. Thorn i wsp. (21) oraz Friis i wsp. (25) stwierdzili zwiększoną liczbę zachorowań na raka żołądka u osób pracujących w oczyszczalniach ścieków w porównaniu do grup kontrolnych sugerując, iż przyczyną zachorowań może być obecność *Helicobacter pylori*.

Z obecnością bakterii Gram-ujemnych wiąże się występowanie endotoksyn – biologicznie aktywnych lipopolisacharydów (LPS) – zawartych w najbardziej zewnętrznej warstwie ściany komórkowej tych bakterii (5,16,17,48–54). Obecność endotoksyn w powietrzu została rozpoznana na różnych stanowiskach pracy: w rolnictwie (uprawa zbóż, hodowla zwierząt), przemyśle farmaceutycznym, drzewnym, papierniczym, włókienniczym, przy zagospodarowywaniu odpadów oraz oczyszczaniu ścieków (52). Do najważniejszych skutków narażenia na endotoksyny należy zaliczyć: toksyczne zapalenie płuc (gorączka wziewna, syndrom toksyczny pyłu organicznego – ODS), zapalenie dróg oddechowych, chroniczne zapalenie oskrzeli oraz alergiczne zapalenie płuc (astma alergiczna) (52). O znaczeniu i roli endotoksyn może świadczyć fakt, że Komitet ds. Pyłu Organicznego ICOH w Criteria Document (52) przedstawił uzasadnienie użycia stężenia endotoksyn jako miary narażenia zawodowego na pył pochodzenia organicznego. Proponuje się w nim przyjąć wartość normatywną dla narażenia nie wywołującego efektu (no effect level – NEL), zapalenia dróg oddechowych – 10 ng/m³, dla efektów systemowych 100 ng/m³ oraz dla toksycznego zapalenia płuc 200 ng/m³.

Badając zanieczyszczenie powietrza w 10 oczyszczalniach ścieków w Finlandii Laitinen i wsp. (17) stwierdzili występowanie endotoksyn, których stężenia mieściły w przedziale 0,6–310 ng/m³. Melbostad i wsp. (20) oznaczając endotoksyny w powietrzu w 15 oczyszczalniach w Norwegii stwierdzili stężenia w przedziale 0–370 ng/m³.

Określając stężenie endotoksyn w powietrzu na stanowiskach pracy w miejscach odpowiadających różnym etapom oczyszczania ścieków stwierdzono, że najwyższe stężenia endotoksyn występują tam, gdzie odbywa się obróbka osadów ściekowych. Na oddziale przeróbki osadów Rylander (19) oznaczył stężenie 32170 ng endotoksyny/m³. W badaniach Laitinen i wsp. (16) określili średnie stężenie endotoksyn na poziomie 140 ng/m³ (zakres 9,2–350 ng/m³). W czasie kompostowania osadów ściekowych zmierzono natomiast stężenia endotoksyn w zakresie od 28,9 do 5930,6 ng/m³ (53).

Thorn i wsp. (22) prowadząc badania w trzech dużych oczyszczalniach ścieków w Szwecji, pobierając próby w stałych

punktach (próby stacjonarne), najwyższe stężenia endotoksyn stwierdzili w budynku odwadniania osadu w czasie dodawania flokulantu – 185 ng/m³ oraz przy kratkach 15,9 ng/m³. Wykonano również oznaczenia instalując pracownikom pompy do poboru próby w strefie oddychania (próby indywidualne). Pomiary indywidualne wskazały, że najwyższe stężenia endotoksyn były u pracowników ekip remontowych pracujących przy komorach sedymentacyjnych (27,2 ng/m³) oraz w stacji pomp ścieków surowych (11,3 ng/m³). Pomiary indywidualne wykonane na pozostałych stanowiskach pracy dały wyniki niższe, średnio 1,5 ng endotoksyny/m³. Jonsson i wsp. (42) podają, że w stacji pomp osadów ściekowych średnie stężenie z pomiarów stacjonarnych wynosiło 14,55 ng/m³, i było 40% wyższe od wyników uzyskanych z użyciem indywidualnych pompek, które wynosiło 8,69 ng/m³.

Do zagrożeń biologicznych w oczyszczalniach ścieków należą także grzyby, a szczególnie stałe składniki ściany komórkowej grzybów, (1→3)-β-D-glukany, których uwolnienie do organizmu może wywoływać choroby o charakterze przewlekłym, jak np. chroniczna bisynoza. Według Rylandera (54) oddziaływanie (1→3)-β-D-glukanów ma miejsce przede wszystkim w pomieszczeniach zamkniętych i znacznie potęguje się w kombinacji z endotoksynami (działanie to wzrasta blisko 100-krotnie). Rylander (19) podaje, że najwyższe stężenie β-D-glukanów określone w powietrzu w próbkach pochodzących z 8 szwedzkich oczyszczalni ścieków dochodziło do 3,6 ng/m³.

Wirusy są także wymieniane jako potencjalny czynnik chorobotwórczy dla pracowników oczyszczalni ścieków. Szczególne zagrożenie stwarzają wirusy zapalenia wątroby typu A (HAV) i B (HBV). Odnaczają się one wysoką odpornością na czynniki fizyczne i chemiczne, a zarażenie następuje najczęściej przez skórę (rany, pęcherze). Brautbar i wsp. (35) informują, że wirus zapalenia wątroby typu C (HCV) został również rozpoznany u osób pracujących przy ściekach. Jest to ważne doniesienie, gdyż wirus ten może wywoływać raka wątroby.

DZIAŁANIA PREWENCYJNE

Ważnym krokiem w ochronie pracowników przed zagrożeniami biologicznymi było wydanie przez Unię Europejską w 2000 r. dyrektywy 2000/54/UE (55), która przedstawia zasady klasyfikacji czynników biologicznych pod względem ich oddziaływania na zdrowie ludzi. Wyróżnia ona cztery grupy ryzyka w zależności od zdolności do wywołania choroby. Dyrektywa podaje ponadto rodzaje działalności zawodowej, których wykonywanie związane jest z możliwością kontaktu pracowników z określonymi czynnikami biologicznymi oraz wykaz szkodliwych czynników biologicznych, które spotyka się na tych stanowiskach (około 400 czynników).

Pracowników zatrudnionych w oczyszczalniach ścieków, biorąc pod uwagę czynniki biologiczne spotykane na tych stanowiskach, zaliczono głównie do 2 grupy ryzyka (tzn. czynniki biologiczne, które mogą wywołać chorobę i mogą



być szkodliwe dla pracowników). W nielicznych przypadkach występujący czynnik sklasyfikowano w 3 grupie ryzyka (czynniki biologiczne, które mogą wywołać ciężki przebieg choroby u ludzi i stwarzać poważne zagrożenie dla zdrowia pracowników). Ponadto, dyrektywa wprowadza szereg przepisów, które mają służyć ochronie zdrowia pracowników, a dotyczą: sposobu określania i oceny ryzyka dla zdrowia; zastępowania czynnika szkodliwego nieszkodliwym; ograniczania ryzyka poprzez odpowiednie projektowanie procesu pracy i technologii; stosowania środków ochrony zbiorowej i indywidualnej; stosowania znaków ostrzegawczych; przygotowania planów postępowania w nagłych przypadkach; podejmowania środków ostrożności w czasie magazynowania, przechowywania i niszczenia odpadów; prowadzenia zapisów i udzielania informacji kompetentnym służbom; szkolenia pracowników; prowadzenia listy narażonych pracowników oraz informowania kompetentnych władz. Jedną z form działań prewencyjnych wymienianych przez dyrektywę są szczepienia. Badacze zajmujący się tym zagadnieniem postulują konieczność wykonywania u osób pracujących zawodowo przy ściekach szczepień przeciwko HAV (36,37,39) oraz HBV (34).

W Polsce w 1993 r. Minister Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa wydał rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy w oczyszczalni ścieków (56). Zawarte w nim przepisy określają wymagania, jakie konieczne są do zapewnienia bezpiecznej pracy osobom zatrudnionym w konkretnych punktach oczyszczalni, takich jak: kraty, komory fermentacyjne, czy zbiorniki zamknięte. Zwraca się uwagę m.in. na konieczność wentylacji miejsc pracy, wyposażenie pracowników w sprzęt do wykrywania gazów niebezpiecznych i szkodliwych dla zdrowia, a także wymóg asekuracji przez osoby wyposażone w aparaty tlenowe.

W 1996 r. ukazało się rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej (57) określające tryb przeprowadzania oraz częstotliwość wykonywania badań okresowych. Precyzuje ono, między innymi, zakres profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami, niezbędnej z uwagi na warunki pracy. W Rozporządzeniu zawarto wytyczne postępowania w przypadku badania osób mających kontakt na stanowisku pracy z konkretnymi zagrożeniami chemicznymi, fizycznymi i biologicznymi. Przepisy te dotyczą również osób pracujących przy oczyszczaniu ścieków. W przypadku narażenia na czynniki biologiczne, takie jak bakterie i grzyby pleśniowe minimalna lista koniecznych badań lekarskich obejmuje: zdjęcie RTG klatki piersiowej oraz badania spirometryczne. Narażenie na HBV wskazuje natomiast na konieczność badania poziomu bilirubiny i ALAT w surowicy. Wszelkie dodatkowe badania specjalistyczne są dozwolone w zależności od wskazań lekarza.

WNIOSKI

Z analizy piśmiennictwa wynika, że pracownicy oczyszczalni ścieków narażeni są na liczne substancje chemiczne, jak

również chorobotwórcze czynniki biologiczne. Do czynników chemicznych zagrażających zdrowiu zalicza się metale ciężkie, WWA, PCB, PCDD oraz lotne substancje organiczne. Wśród czynników biologicznych wymienić należy bakterie (przede wszystkim Gram-ujemne), endotoksyny, pleśnie, grzyby i wirusy.

Do grup zawodowych o największym narażeniu zalicza się pracowników zajmujących się obróbką osadów ściekowych oraz mechanicznym oczyszczaniem ścieków (kraty, piaskowniki).

Do najczęściej zgłaszanych objawów chorobowych przez pracowników oczyszczalni ścieków należą: infekcje układu oddechowego i pokarmowego, podrażnienia oczu i skóry, bóle głowy oraz złe samopoczucie. Należy się również liczyć z możliwością wystąpienia wirusowego zapalenia wątroby oraz chorób żołądka wywołanych obecnością *Helicobacter pylori*.

W Polsce narażenie zawodowe na czynniki biologiczne i chemiczne pracowników oczyszczalni ścieków jest mało poznane. Brak jest również regulacji prawnych dotyczących dopuszczalnych stężeń drobnoustrojów oraz endotoksyn w powietrzu na stanowiskach pracy co utrudnia kontrolę warunków higienicznych.

PIŚMIENNICTWO

1. Ustawa Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. DzU nr 115, poz. 1229, 2001 oraz DzU nr 154, poz. 1803, 2001.
2. Roman M.: Kanalizacja. Oczyszczanie ścieków. Arkady, Warszawa 1986.
3. Ochrona środowiska 2001. GUS, Warszawa 2001.
4. Oczyszczanie ścieków. Cytowany 5 marca 2002. Adres: www.czystawoda.pl/oczyszcz.htm.
5. Mulloy K.B.: Sewage workers: toxic hazards and health effects. *Occup Med.* 2001; 16: 23–38.
6. Baldi F., Vaughan A.M., Olson G.J.: Chromium (VI)-resistant yeast isolated from sewage treatment plant receiving tannery wastes. *App. Environ. Micr.* 1990; 56 (4): 913–918.
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 2001.
9. Bień J.B., Bień J.D., Matysiak B.: Gospodarka odpadami w oczyszczalniach ścieków. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1999.
10. Urbaniak M.: Przerób i wykorzystanie osadów ze ścieków komunalnych. Wydawnictwo Ekoinżynieria, Lublin – Łódź 1997.
11. Kuszmidar G., Kolonko I., Suschka J.: Lotne związki organiczne w ściekach komunalnych. *Arch. Ochr. Środ.* 1997; 23: 91–104.
12. Kuszmidar G., Mrowiec B., Kubiesa I., Suschka J.: Uwalnianie lotnych związków organicznych ze ścieków do atmosfery. *Arch. Ochr. Środ.* 1997; 23: 79–90.
13. 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.
14. Berg A.K., Peoples R.S.: Distribution of polychlorinated biphenyls in municipal wastewater treatment plant and environs. *Sci. Total Environ.* 1977; 8 (3): 197–204.



15. 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.
16. 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.
17. Laitinen S., Nevalainen A., Kotimaa M., Liesivuori J., Martikainen P.J.: Relationship between bacterial counts and endotoxin concentrations in the air of wastewater treatment plants. *Appl. Environ. Microbiol.* 1992; 58 (11): 3774–3776.
18. Lundholm M., Rylander R.: Work related symptoms among sewage workers. *Br. J. Ind. Med.* 1983; 40: 325–329.
19. Rylander R.: Health effects among workers in sewage treatment plants. *Occup. Environ. Med.* 1999; 56: 354–357.
20. Melbostad E., Eduard W., Skogstad A., Sandven P., Lassen J., Sørstrand P. i wsp.: Exposure to bacterial aerosols and work-related symptoms in sewage workers. *Am. J. Ind. Med.* 1994; 25: 59–63.
21. Thorn J., Kerekes E.: Health effects among employees in sewage treatment plants: A literature survey. *Am. J. Ind. Med.* 2001; 40: 170–179.
22. 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.
23. Stampi S., Zanetti F., Crestani A., de Luca G.: Occurrence and seasonal variation of airborne gram negative bacteria in a sewage treatment plant. *Microbiologica* 2000; 23: 97–104.
24. Stampi S., Varoli O., de Luca G., Zanetti F.: Occurrence, removal and seasonal variation of „thermophilic” *Campylobacters* in a sewage treatment plant in Italy. *Zbl. Hyg.* 1992; 193: 199–210.
25. 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.
26. Jacob J., Bindemann U., Stelzer W.: Characterization of thermophilic campylobacters originated from a high-rate sewage treatment plant. *Zbl. Hyg.* 1991; 192: 14–24.
27. Kalisz L., Kaźmierczuk M., Sałbut J.: Miejska oczyszczalnia ścieków jako źródło mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza. *Ochr. Środ. Zasob. Natur.* 1997; 7: 33–55.
28. 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.
29. Dutkiewicz J., Śpiewak R., Jabłoński L.: Klasyfikacja szkodliwych czynników biologicznych występujących w środowisku pracy oraz narażonych na nie grup zawodowych. Instytut Medycyny Wsi, Lublin 1999.
30. 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.
31. Wlazło A., Pastuszka J.S., Łudzeń-Izbińska B.: Ocena narażenia na aerozol bakteryjny pracowników niedużej oczyszczalni ścieków. *Med. Pr.* 2002; 53: 109–114.
32. Welke G.: Virologische Untersuchungen an einer mechanisch-biologischen Abwasser-Reinigungsanlage. *Z. Gesamte Hyg.* 1969; 15 (11): 894–897.
33. Friis L.: Health of municipal sewage workers. *Acta Universitatis Upsaliensis, Uppsala* 2001.
34. Arvanitidou M., Constantinidis T.C., Doutsos J., Mandraveli K., Katsouyannopoulos V.: Occupational hepatitis B virus infection in sewage workers. *Med. Lav.* 1998; 89 (5): 437–444.
35. Brautbar N., Navizadeh N.: Sewer workers: Occupational risk for hepatitis C – report of two cases and review of literature. *Arch. Environ. Health* 1999; 54 (5): 328–330.
36. De Serres G., Levesque B., Higgins R., Major M., Laliberte D., Boulianne N. i wsp.: Need for vaccination of sewer workers against leptospirosis and hepatitis A. *Occup. Environ. Med.* 1995; 52: 505–507.
37. Frölich J., Zeller I.: Hepatitis-A-Infektionsrisiko bei den Mitarbeitern einer grossen Kläranlagenbetriebsgesellschaft. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 1993; 28 (11): 503–505.
38. Hurst C.J., Farrah S.R., Gerba C.P., Melnick J.L.: Development of quantitative methods for the detection of enteroviruses in sewage sludges during activation and following land disposal. *Appl. Environ. Microbiol.* 1978; 36 (1): 81–89.
39. Warlen A.A., Hoff G.L.: Hepatitis A in waste water treatment plant workers: is vaccination necessary? *JOEM* 1998; 40 (6): 515–517.
40. Levin M., Fromm P., Trajber I., Lahat N., Askenazi S., Lerman Y.: Risk of hepatitis A virus infection among sewage workers in Israel. *Arch. Environ. Health* 2000; 55 (1): 7–10.
41. Sehgal R., Mahajan R.C.: Occupational risk in sewage work. *Lancet* 1991; 338 (8779): 1404–1405.
42. Jonsson T., Thorn J.: Exposure in sewage treatment plants. Report in three parts. Göteborg University, Göteborg 2002.
43. Imhoff K., Imhoff K.R.: Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. *Projprzem-EKO, Bydgoszcz* 1996.
44. Lebedowski M.: Oddziaływanie oczyszczalni ścieków na środowisko. *Hig. Pr.* 1994; 4: 44–49.
45. Sałbut J., Kalisz L., Kaźmierczuk M.: Miejska oczyszczalnia ścieków jako źródło emisji odorów. *Ochr. Środ. Zasob. Natur.* 1997; 7: 57–66.
46. Kośmider J., Wyszynski B.: Zapachowa uciążliwość oczyszczalni ścieków komunalnych. *Arch. Ochr. Środ.* 2001; 27: 69–83.
47. Kangas J., Nevalainen A., Manninen A., Savolainen H.: Ammonia, hydrogen sulphide and methyl mercaptides in Finnish municipal sewage plants and pumping stations. *Sci. Total Environ.* 1986; 57: 49–55.
48. Laitinen S.K.: Importance of sampling, extraction and preservation for the quantitation of biologically active endotoxin. *Ann. Agric. Environ. Med.* 1999; 6: 33–38.
49. Dutkiewicz J.: Bacteria and fungi in organic dust as potential health hazard. *Ann. Agric. Environ. Med.* 1997; 4: 11–16.
50. Heederik D., Douwes J.: Towards an occupational exposure limit for endotoxins? *Ann. Agric. Environ. Med.* 1997; 4: 17–19.
51. Nielsen M., Wørtz H., Nielsen B.H., Breum N.O., Poulsen O.M.: Relationship between different bioaerosol parameters sampled from the breathing zone of waste collectors – identification of the most important parameters. *Ann. Agric. Environ. Med.* 1997; 4: 81–85.
52. Rylander R.: Endotoxins in the environment – A criteria document. *Int. J. Occup. Environ. Health* 1997; 3: 1–48.
53. 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.



54. Rylander R.: Endotoxins in the environment. W: Levin J., Alving C.R., Munford R.S., Redl H. [red.]. Progress in Clinical and Biological Research. Bacterial Endotoxins: Lipopolysaccharides Genes to Therapy. Wiley-Liss Inc., New York 1995; ss. 79-90.
55. 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 L 262; 17.10.2000; ss. 21-45.
56. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 1 października 1993 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy w oczyszczalniach ścieków. DzU nr 96, poz. 438, 1993.
57. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzenia badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. DzU nr 69, poz. 332, 1996.

