

# ZANIECZYSZCZENIA MIKROBIOLOGICZNE POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO NA TERENIE I W OTOCZENIU OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW Z SYSTEMEM STAWÓW NAWIETRZANYCH I STABILIZACYJNYCH

**Anna GOTKOWSKA-PLACHTA<sup>1)</sup>, Zofia FILIPKOWSKA<sup>1)</sup>,  
Ewa KORZENIEWSKA<sup>1)</sup>, Wojciech JANCZUKOWICZ<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Mikrobiologii Środowiskowej

<sup>2)</sup> Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska

*Słowa kluczowe: bakterie, oczyszczalnie hydrofitowe, powietrze*

## Streszczenie

Badania powietrza atmosferycznego prowadzono na terenie i w otoczeniu hydrofitowej oczyszczalni ścieków bytowo-gospodarczych w Biesalu o przepustowości  $170 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , z pięciostopniowym stawem nawietrzonym, stawem stabilizacyjnym oraz filtrem gruntowo-roślinnym o przepływie poziomym (FGR). Badano liczebność bakterii heterotroficznych psychrofilnych, psychrotrofowych i mezofilnych oraz wybranych grup fizjologicznych drobnoustrojów: z rodziny *Enterobacteriaceae*, rodzaju *Staphylococcus* i *Enterococcus*, gatunku *Pseudomonas fluorescens*, bakterii hemolizujących oraz promieniowców. Powietrze do badań pobierano w sezonach letnim, jesiennym, zimowym i wiosennym, równoległe dwoma metodami (sedymentacyjną i zderzeniową) na 6 stanowiskach usytuowanych na terenie oczyszczalni oraz na 4 usytuowanych w jej otoczeniu. Tło wyznaczano w zależności od kierunku wiatru po stronie nawietrznej w stosunku do położenia oczyszczalni. Równoległe z badaniami mikrobiologicznymi prowadzono pomiary temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru.

Biorąc pod uwagę poszczególne grupy badanych drobnoustrojów, stwierdzono statystycznie istotne różnice ich liczebności w powietrzu pobieranym w różnych sezonach badawczych oraz różnymi metodami. Największą średnią ich liczebność stwierdzano zazwyczaj w próbkach powietrza pobieranego metodą sedymentacyjną oraz w okresie wiosennym (z wyjątkiem bakterii z rodziny

*Enterobacteriaceae*, których maksymalną liczebność odnotowano latem i jesienią), najmniejszą natomiast zimą. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w liczebności badanych grup drobnoustrojów w powietrzu pobieranym na poszczególnych stanowiskach badawczych, jednak większą ich liczebność stwierdzano w powietrzu pobieranym w pobliżu osadnika pionowego, komory magazynowania osadu oraz sporadycznie w odległości 25 m od ogrodzenia obiektu. Uwzględniając kryteria oceny stopnia bakteriologicznego zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego podane w normach PN-89-Z-04111/02 i prPN-Z-04111-2: 2004, badane powietrze na terenie i w otoczeniu oczyszczalni ścieków przeważnie było niezanieczyszczone lub średnio zanieczyszczone.

## WSTĘP

W ciągu ostatnich kilkunastu lat rośnie zainteresowanie ekologicznymi i ekonomicznymi, a jednocześnie wysokoefektywnymi systemami oczyszczania ścieków. Wymagania te spełniają oczyszczalnie hydrofitowe, których praca symuluje warunki hydrauliczne oraz siedliskowe naturalnych ekosystemów mokradłowych. Dobrym rozwiązaniem są też inne technologie, wykorzystujące naturalne metody samooczyszczania wód (np. stawy napowietrzane i stabilizacyjne) [FILIPKOWSKA, 2006; ŁOMOTOWSKI, SZPINDOR, 2002; OBARSKA-PEMPKOWIAK, 2002]. Obiekty tego typu, tanie w budowie i eksploatacji oraz proste w obsłudze, są optymalnym rozwiązaniem na obszarach wiejskich, gdzie do 2002 r. tylko 14% ludności w Polsce korzystało z konwencjonalnych oczyszczalni ścieków [OBARSKA-PEMPKOWIAK, 2005].

Oczyszczanie ścieków w systemach naturalnych (FGR, stawy biologiczne) polega na wykorzystywaniu różnych procesów mikrobiologicznych, reakcji fizykochemicznych (sedymentacja, filtracja, adsorpcja, potencjał utleniająco-redukcyjny, toksyczność) oraz biologicznej aktywności odpowiednio dobranych roślin wodnych i wodolubnych (hydrofitów). Rośliny kumulują związki biogenne ze ścieków, drobnoustroje natomiast mineralizują materię organiczną. Dzięki swoim właściwościom fizjologicznym i metabolicznym (wyżywianie, konkurencja pokarmowa, działalność lityczna oraz wytwarzanie bakteriocyn i antybiotyków) eliminują również mikroorganizmy patogenne ze ścieków [BRIX, 1994; CHUNG i in., 1998; DECAMP, WARREN, 1998; KOTTON-CZARNECKA, CHRÓST, 2001; KRĘGIEL, DREWICZ, 2000].

Oprócz pozytywnej roli, którą odgrywają oczyszczalnie, przyczyniając się do ochrony zasobów naturalnych (wody, gleby), mogą one również mieć niekorzystny wpływ na stan sanitarny otaczającego je powietrza [KAŻMIERCZUK, KALISZ, SALBUT, 2004; KULIG, OSSOWSKA-CYPRYK, 1999]. Ścieki zawierają różne drobnoustroje chorobotwórcze, jak: wirusy, grzyby, pierwotniaki oraz bakterie, głównie jelitowe z rodziny *Enterobacteriaceae* i *Pseudomonadaceae*, bakterie z rodzaju *Staphylococcus*, *Clostridium* i *Enterococcus* oraz promieniowce (*Mycobacterium tuberculosis*) [KOŁWZAN i in., 2005]. W procesach oczyszczania (wylewanie, mieszanie, napowietrzanie i rozdeszczowywanie ścieków) mogą one być generowane do powietrza jako bioaerozole. Zasięg ich emisji, rodzaj, liczba i przeżywalność są uzależnione od warunków fizykochemicznych i meteorologicznych powietrza, ukształtowania terenu, pory dnia i roku, rodzaju ścieków i zastosowanej technologii oczyszczania. Drobnoustroje nie znajdują w powietrzu dogodnych warunków do namnażania, jednak każdy kontakt z tą mikroflorą jest niebezpieczny i może stwarzać zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt [CYPROWSKI i in., 2005; KAŻMIERCZUK, KALISZ, SALBUT, 2004;

KRZYSZTOFIK, 1992; THORN, KERÉKES, 2002]. Mając to na uwadze, za cel niniejszej pracy przyjęto zbadanie zanieczyszczenia bakteriologicznego powietrza atmosferycznego na terenie i w otoczeniu wybranej hydrofitowej oczyszczalni ścieków.

## METODY BADAŃ

**Teren badań i lokalizacja stanowisk badawczych.** Badania powietrza atmosferycznego prowadzono na terenie i w otoczeniu hydrofitowej oczyszczalni ścieków bytowo-gospodarczych w Biesalu o przepustowości  $170 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , funkcjonującej w układzie pięciostopniowego stawu napowietrzanego, stawu stabilizacyjnego oraz filtru gruntowo-roślinnego (FGR) o przepływie poziomym. Na terenie oczyszczalni zlokalizowano 6 stanowisk badawczych: przy osadniku pionowym, stawie napowietrzonym, stawie stabilizacyjnym, filtrze gruntowo-roślinnym (FGR) z przepływem poziomym, osadniku wtórnym i poletku trzcinowym. W otoczeniu oczyszczalni ścieków wytypowano 4 stanowiska badawcze: przy ogrodzeniu oczyszczalni ścieków, w odległości 0–25, 26–50 i 51–100 m od ogrodzenia oczyszczalni. Stanowisko kontrolne (tło) wyznaczano w zależności od kierunku wiatru po stronie nawietrznej w stosunku do oczyszczalni. Typując stanowiska poboru próbek powietrza, wybierano miejsca, z których emisja aerozoli i pyłów bakteryjnych mogła być największa. Wzięto również pod uwagę kierunki wiatrów, wiejących w tych dniach na tym terenie, jak również odległości od granicy badanego obiektu.

**Badania mikrobiologiczne.** Badania próbek powietrza atmosferycznego prowadzono równolegle metodą sedymentacyjną i zderzeniową latem i jesienią 2006 r. oraz zimą i wiosną 2007 r., zgodnie z obowiązującą normą PN-89-Z-04111/01 i propozycją do normy prPN-Z-04111-1. Zakres badań mikrobiologicznych obejmował oznaczenie liczby, wyrażonej w  $\text{jtk} \cdot \text{m}^{-3}$ :

- bakterii heterotroficznych (psychrofilnych) barwnych (pigmentowych) i bezbarwnych, wyrosłych na agarze odżywczym w temperaturze  $22^\circ\text{C}$  po 72 h i 7 dniach inkubacji ogółem;
- bakterii heterotroficznych (psychrotrofowych) barwnych (pigmentowych) i bezbarwnych, wyrosłych na agarze odżywczym w temperaturze  $26^\circ\text{C}$  po 72 h i 7 dniach inkubacji ogółem;
- bakterii heterotroficznych (mezofilnych), wyrosłych na agarze odżywczym w temperaturze  $37^\circ\text{C}$  po 24 h inkubacji ogółem;
- gronkowców mannitolododatnich i mannitoloujemnych, wyrosłych na podłożu Chapmana w temperaturze  $37^\circ\text{C}$  po 48 h inkubacji;
- bakterii hemolizujących, wyrosłych na podłożu bulion-agarowym z odwłóknioną krwią baranią w temperaturze  $37^\circ\text{C}$  po 48 h inkubacji;
- bakterii z rodzaju *Pseudomonas fluorescens*, wyrosłych na podłożu Kinga B w temperaturze  $26^\circ\text{C}$  po 48 h inkubacji;
- promieniowców, wyrosłych na podłożu Pochona w temperaturze  $26^\circ\text{C}$  po 7 dniach inkubacji;
- bakterii z gatunku *Enterococcus faecalis*, wyrosłych na podłożu Słanetza-Bartley'a w temperaturze  $37^\circ\text{C}$  po 72 h inkubacji;
- bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, wyrosłych na podłożu Endo i Chromocult w temperaturze  $37^\circ\text{C}$  po 48 h inkubacji.

Podczas oznaczania liczebności bakterii z rodzaju *Pseudomonas* hodowle sprawdzano w świetle lampy UV Wooda, zliczając kolonie wytwarzające fluoresceinę i/lub piocyjaninę.

Typowe kolonie bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, wyrosłe na podłożach Endo i Chromocult, oraz z rodzaju *Staphylococcus*, wyrosłe na podłożu Chapmana, przeszczepiano na podłoże bulion-agarowe z dodatkiem 2% glukozy i 7% krwi baraniej w celu namnożenia badanej kultury i określenia zdolności hemolizujących. Do dalszej identyfikacji bakterie te poddano dodatkowym testom biochemicznym. W przypadku bakterii z rodzaju *Staphylococcus* sprawdzano wytwarzanie enzymu katalazy, a w przypadku bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* określano zdolność wytwarzania enzymu oksydazy cytochromowej. Kończącą identyfikację przeprowadzono za pomocą testów firmy bioMerieux: API Staph oraz API 20E. Wszystkie wyżej wymienione oznaczenia były poprzedzone określeniem zdolności ruchowych bakterii i ich stosunku do barwienia metodą Grama.

**Badania meteorologiczne.** Jednocześnie z badaniami mikrobiologicznymi prowadzono obserwacje wybranych parametrów meteorologicznych. Określano kierunek i siłę wiatru, a także za pomocą specjalnego aparatu temperaturę powietrza i jego wilgotność względną w danym punkcie pomiarowym. W czasie badań prędkość wiatru ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) w poszczególnych porach roku mieściła się w granicach: latem 0–7,4; jesienią 0–2,5; zimą 0,4–10,2 i wiosną 0–5,0. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) latem wahała się w zakresie od 26,9 do 40,0; jesienią od 20,3 do 24,0; zimą od 11,5 do 17,2, a wiosną od 16,8 do 21,6. Wilgotność powietrza (%) wynosiła: latem 40–61, jesienią 57–65, zimą 42–52, a wiosną 26–36.

**Opracowanie statystyczne wyników.** W celu ustalenia, czy liczebność poszczególnych grup drobnoustrojów w powietrzu pobieranym różnymi metodami, w różnym czasie oraz na różnych stanowiskach badawczych różni się, posłużono się jedno- oraz dwuczynnikową analizą wariancji (jednoczynnikowa ANOVA i ANOVA dla układów czynnikowych), weryfikując hipotezę o równości średnich ( $H_0: x_1 = x_2 = \dots = x_5$ ) na poziomie istotności  $p = 0,05$ , przyjmując założenie, że wariancje dla liczebności badanych grup bakterii są jednorodne [STANISZ, 2006].

## WYNIKI I DYSKUSJA

Oczyszczalnie ścieków chronią zasoby naturalne, ale są również źródłem różnego rodzaju zanieczyszczeń, w tym zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza. Wielkość emisji z tych obiektów i rodzaj emitowanych bioaerozoli zależą głównie od rodzaju ścieków oraz zastosowanej technologii oczyszczania [FILIPKOWSKA, 2006; FILIPKOWSKA i in., 2002a, b; FILIPKOWSKA, KORZEKWA, 1999; KAŻMIERCZUK, KALISZ, 1999; KAŻMIERCZUK, KALISZ, SAŁBUT, 2004].

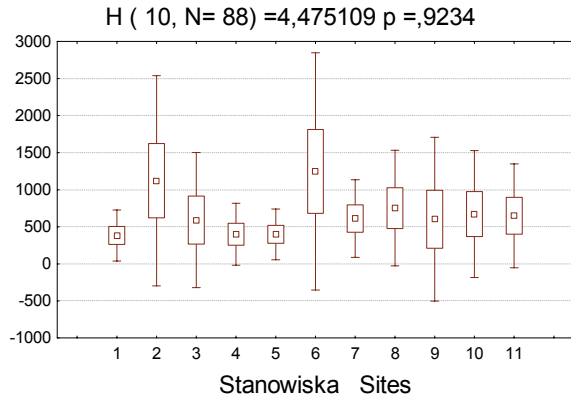
Na terenie badanej hydrofitowej oczyszczalni ścieków nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w liczebności badanych grup drobnoustrojów w powietrzu pobieranym na poszczególnych stanowiskach badawczych. Ich większa liczebność występowała najczęściej w powietrzu pobieranym na stanowiskach usytuowanych przy osadniku pionowym i komorze magazynowania osadu (rys. 1). Wartość wskaźnika, obrazującego stosunek liczby bakterii na danym stanowisku do liczby na stanowisku kontrolnym przekraczająca 5, wskazuje że liczba bakterii psychrofilnych, psychrotrofowych i mezofilnych była wielokrotnie większa na tych stanowiskach niż na stanowisku kontrolnym. Taką sytuację stwier-

dzano przede wszystkim latem oraz sporadycznie wiosną, przy osadniku pionowym, poletku trzcinowym oraz komorze magazynowania osadu, rzadziej przy stawie napowietrzonym i stabilizacyjnym (tab. 1). Większą liczebność tych bakterii odnotowywano również w próbkach powietrza pobieranych przy filtrze gruntowo-roślinnym. Jest mało prawdopodobne, by ścieki płynące systemem podpowierzchniowym na tym stanowisku mogły być źródłem emisji drobnoustrojów do powietrza. Drobnoustroje te mogły pochodzić od okolicznego ptactwa bytującego na FGR (odchody ptasie zawierają nawet do kilkuset milionów bakterii jelitowych w gramie) [KOWAL, 1985]. W wyniku przepływu ścieków korytami przelewowymi na drodze do osadnika pionowego mogą powstawać drobne kropelki ścieków z dużym zagęszczeniem mikroorganizmów [BLANCHARD, SYZDEK, 1982; FILIPKOWSKA, 2006]. Transport i magazynowanie osadów ściekowych, które zawierają bardzo duże ilości drobnoustrojów, jest procesem sprzyjającym przedostawaniu się mikroorganizmów do powietrza. Wyniki badań KAŻMIERCZUKA, KALISZ i SAŁBUT [2004] potwierdzają dużą liczebność bakterii w próbkach powietrza pobieranych w pobliżu osadników wtórnych i poletek osadowych oraz podczas transportu osadów. Zagęszczenie bakterii mezofilnych, wynoszące od  $9 \cdot 10^6$  do  $5 \cdot 10^7$  jtk $\cdot$ m $^{-3}$ , stwierdzili CYPROWSKI i in. [2005] w powietrzu w pobliżu laguny osadowej, w budynku zagęszczania osadów oraz w pobliżu kompostowni sąsiadującej z oczyszczalnią.

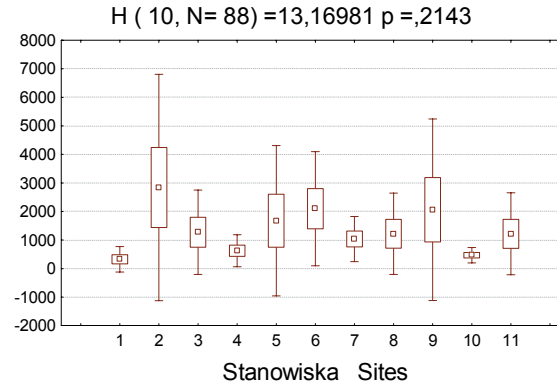
Transport osadów ściekowych może również przyczyniać się do rozprzestrzeniania się drobnoustrojów chorobotwórczych, pochodzących z wydaliny i wydzieliny ludzi i zwierząt. Kontakt z tą mikroflorą może być niebezpieczny dla zdrowia [ALCAMO, 2000; CAMANN i in., 1988; KAŁUŻEWSKI, 2007; MAHON, MANUSELIS, 2000]. W próbkach powietrza pobranych na terenie i w otoczeniu badanej oczyszczalni hydrofitowej średnia liczebność bakterii mezofilnych (a więc potencjalnie chorobotwórczych) kształtowała się na poziomie od kilkunastu do  $1 \cdot 10^3$  jtk $\cdot$ m $^{-3}$  i osiągała największe wartości w powietrzu przy poletku trzcinowym wykorzystywanym do utylizacji osadów ściekowych (rys. 1). Transport osadów na poletka oraz przebywanie na tych poletkach owadów i ptaków mogły przyczynić się do przemieszczenia cząstek osadów do powietrza. Większa niż na pozostałych stanowiskach liczebność promieniowców w próbkach powietrza pobieranego przy poletku trzcinowym przypuszczalnie świadczy o zanieczyszczeniu tych próbek cząstkami gleby. Jednak w próbkach powietrza badanych pod kątem występowania typowo ściekowych pałeczek jelitowych z rodziny *Enterobacteriaceae* zarówno przy osadniku pionowym, jak i zbiorniku magazynowania osadu stwierdzono tylko bakterie z gatunku *Pantoea* spp. 3. Wśród bakterii z rodzaju *Staphylococcus* na tych stanowiskach dominował gatunek *Staphylococcus xylosum*.

Na terenie i w otoczeniu oczyszczalni ścieków najmniejszą liczebność (od 0 do kilkunastu komórek w m $^3$ ) w próbkach badanego powietrza na wszystkich wyznaczonych stanowiskach osiągały bakterie z gatunków *Enterococcus faecalis* i *Pseudomonas fluorescens* oraz z rodzaju *Staphylococcus*. KAŻMIERCZUK, KALISZ i SAŁBUT [2004] podają, że drobnoustroje mogą być emitowane do atmosfery, gdy ich liczba przekracza  $10^3$  komórek w cm $^3$  ścieków. Liczba oznaczanych bakterii heterotroficznych (psychrofilne, psychrotrofowe, mezofilne) w ściekach oczyszczanych w stawie napowietrzonym i stabilizacyjnym w omawianej oczyszczalni wynosiła przeważnie od  $10^3$  do  $10^6$  komórek w cm $^3$  ścieków, mimo to w powietrzu w ich pobliżu nie stwierdzano większych liczebności oznaczanych bakterii. W pięciostopniowym stawie napowietrzonym zastosowano system wglębnego napowie-

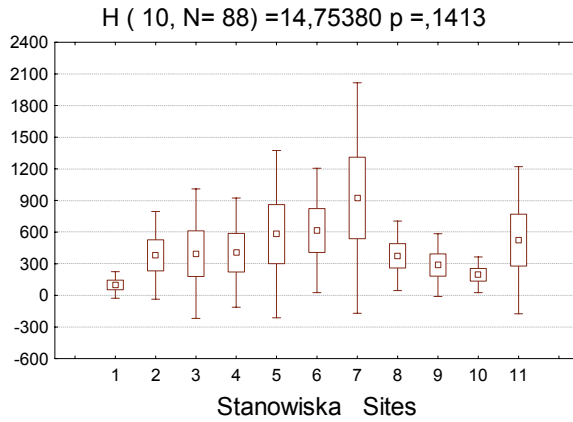
a)



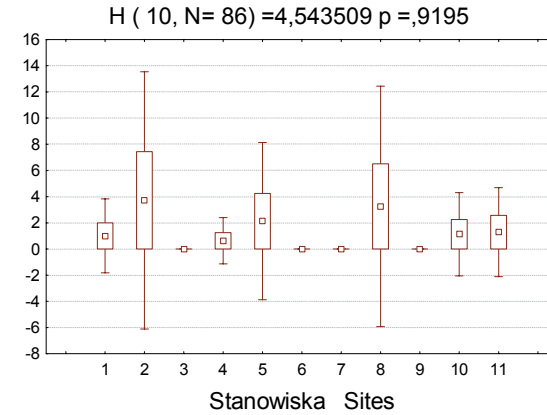
b)

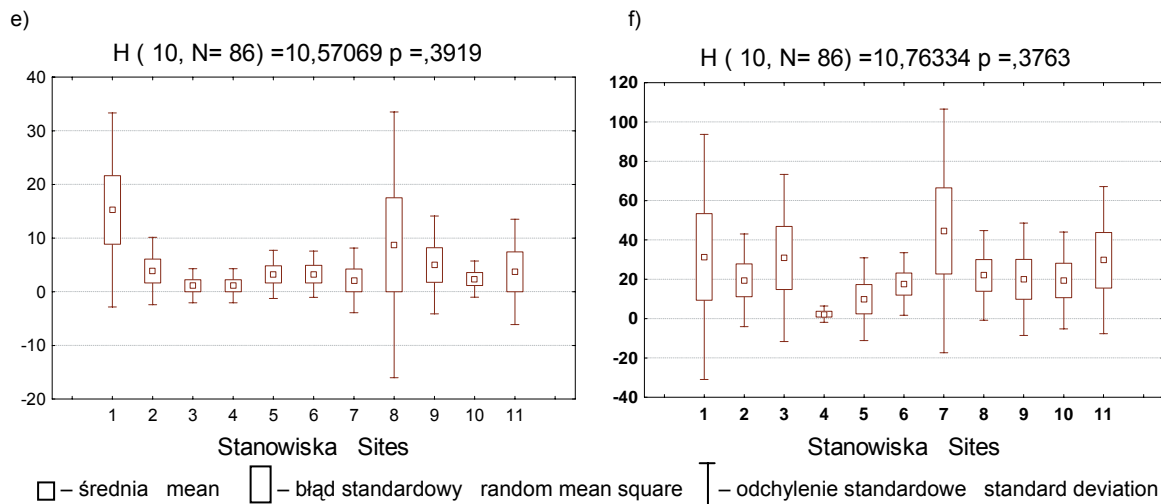


c)



d)





Rys. 1. Średnia liczebność bakterii, odchylenie standardowe i błąd standardowy ( $\text{jtk} \cdot \text{m}^{-3}$ ) w próbkach powietrza pobieranych w całym okresie badawczym: a) bakterie psychrofilne, b) bakterie psychrotrofowe, c) bakterie mezofilne, d) bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae*, wyrosłe na podłożu Endo, e) bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae*, wyrosłe na podłożu Chromocult, f) promieniowce; 1 – stanowisko kontrolne, 2 – osadnik pionowy, 3 – staw napowietrzany, 4 – staw stabilizacyjny, 5 – filtr gruntowo-roślinny, 6 – komora magazynowania osadu, 7 – poletko trzcinowe, 8 – ogrodzenie oczyszczalni, 9 – 0–25 m od ogrodzenia, 10 – 26–50 m od ogrodzenia, 11 – 51–100 m od ogrodzenia (zmienna niezależna – grupująca – stanowisko poboru próbek, test ANOVA rang Kruskala-Wallis)

Fig. 1. Mean number of bacteria, standard deviation and standard error ( $\text{cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ ) of: a) psychrophilic bacteria, b) psychrotrophic bacteria c) mesophilic bacteria, d) *Enterobacteriaceae* bacteria, isolated in Endo medium, e) *Enterobacteriaceae* bacteria, isolated in Chromocult medium, f) actinomycetes in air samples collected during the whole study period; 1 – control site, 2 – sedimentation vertical tank, 3 – aeration pond, 4 – stabilization pond, 5 – reed bed, 6 – tank for sludge storage, 7 – reed field, 8 – fence of constructed wetland, 9 – 0–25 m from the fence, 10 – 26–50 m from the fence, 11 – 51–100 m from the fence (independent variable – grouping variable – sampling site. ANOVA test of Kruskal-Wallis ranks)

**Tabela 1.** Wskaźnik określający liczbę bakterii mezofilnych (M), psychrotrofowych (Pt) i psychrofilnych (Pf) w próbkach powietrza badanego metodą sedimentacyjną (s) i zderzeniową (z) na terenie i w otoczeniu badanej oczyszczalni ścieków w stosunku do stanowiska kontrolnego

**Table 1.** The ratio of the number of mesophilic (M), psychrotrophic (Pt) and psychrophilic bacteria in studied samples of air collected by sedimentation (s) and impact methods (z) in the constructed wetland area and in its surrounding to respective numbers at the control site

Stanowisko Site	Pora roku Season	Wskaźnik Ratio					
		M (37°C)		Pt (26°C)		Pf (22°C)	
		s	z	s	z	s	z
1	2	3	4	5	6	7	8
Teren oczyszczalni Constructed wetland area							
– osadnik pionowy vertical sedimentation tank	lato summer	0,9	4,0	14,6	25,0	6,5	1,1
	jesień autumn	6,1	1,0	1,1	3,3	0,8	0,9
	zima winter	–	12,0	3,1	–	–	–
	wiosna spring	6,4	–	9,4	68,0	9,8	7,5
– staw napowietrzany aerated pond	lato summer	0,2	2,0	6,7	15,0	2,9	0,9
	jesień autumn	6,1	1,0	1,0	2,8	0,5	0,4
	zima winter	–	2,0	3,5	–	–	–
	wiosna spring	9,0	–	3,9	23,0	6,3	1,3
– staw stabilizacyjny stabilization pond	lato summer	0,3	2,0	6,2	8,0	4,6	0,4
	jesień autumn	9,5	–	0,7	2,8	0,5	0,4
	zima winter	–	2,0	4,0	–	0,4	–
	wiosna spring	6,5	–	1,6	5,5	2,7	0,3
– filtr gruntowo-roślinny reed bed	lato summer	0,4	1,0	2,1	4,0	0,9	0,4
	jesień autumn	8,9	0,5	1,3	2,5	0,8	1,3
	zima winter	–	6,0	1,1	–	0,1	–
	wiosna spring	5,3	–	2,9	76,0	0,8	3,3
– poletko trzcinowe reed field	lato summer	1,0	14,0	6,0	7,0	3,2	2,4
	jesień autumn	10,0	1,5	1,4	5,5	0,9	0,7
	zima winter	–	40,0	3,0	–	0,1	–
	wiosna spring	4,9	–	2,3	14,5	3,6	1,8
– komora magazynowania osadu tank for sludge storage	lato summer	2,0	2,0	19,4	45,0	6,0	0,4
	jesień autumn	11,7	0,5	1,1	2,0	0,8	1,1
	zima winter	–	16,0	3,0	–	0,1	–
	wiosna spring	6,6	–	4,9	42,0	10,7	11,5
Otoczenie oczyszczalni Constructed wetland surrounding							
– ogrodzenie oczyszczalni fence of constructed wetland	lato summer	1,2	1,0	10,6	5,0	6,2	–
	jesień autumn	4,5	1,5	1,4	1,0	0,8	0,9
	zima winter	–	8,0	43,3	–	–	–
	wiosna spring	4,1	–	0,1	2,0	2,4	11,5



cd. tab. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
– odległość od ogrodzenia, m distance from the fence, m							
0–25	lato summer	0,5	–	10,4	2,0	18,3	–
	jesień autumn	3,3	1,5	0,7	1,3	0,4	0,4
	zima winter	–	4,0	6,5	–	0,3	–
	wiosna spring	3,1	–	1,8	97,0	0,7	0,3
26–50	lato summer	0,3	11,0	4,2	9,0	0,6	0,3
	jesień autumn	5,6	0,5	1,6	1,8	0,7	0,8
	zima winter	–	4,0	13,6	–	1,9	–
	wiosna spring	1,4	–	0,1	4,5	2,0	13,3
51–100	lato summer	–	1,0	1,9	91,0	–	–
	jesień autumn	7,8	–	0,5	2,3	0,6	1,1
	zima winter	–	10,0	8,1	–	2,2	–
	wiosna spring	8,8	–	1,0	17,0	4,4	7,0

Objaśnienia: ≤5 powietrze czyste, 6–10 częściowo zanieczyszczone, ≥11 zanieczyszczone.

Explanations: ≤5 unpolluted air, 6–10 partly polluted, ≥11 polluted air.

trzenia, który nie powoduje zbyt dużej turbulencji, a tym samym nie generuje dużej ilości bioaerozoli. KALISZ, KAŻMIERCZUK i SALBUT [1994] oraz CARDUCCI i in. [2000] podają, że w oczyszczalniach z głębokim system napowietrzania nie stwierdza się silnego skażenia mikrobiologicznego powietrza atmosferycznego.

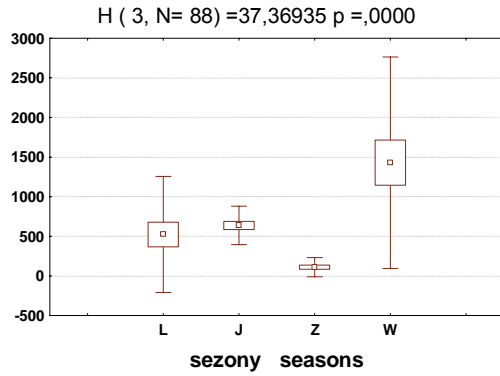
Brak generowania bioaerozoli do powietrza potwierdza występowanie w próbkach powietrza na terenie oczyszczalni i w jej otoczeniu przede wszystkim bakterii z rodzaju *Pantoea*, mimo że w ściekach oczyszczanych w pięciostopniowym stawie napowietrzonym i stabilizacyjnym zidentyfikowano kilkanaście gatunków bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* (*Citrobacter freundii*, *C. braakii*, *Enterobacter gergoviae*, *E. cloacae*, *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca*, *K. pneumoniae* spp. *pneumoniae*, *Kluyvera* spp., *Rahnella aquatilis*, *Serratia odoriferai* i *S. fonticola*). Wyjątkowo stwierdzono bakterie z rodzaju *Serratia* przy stawie stabilizacyjnym i ogrodzeniu.

Liczebność oznaczanych drobnoustrojów w otoczeniu oczyszczalni hydrofitowej kształtowała się na różnym poziomie, osiągając wartości zbliżone do stwierdzanych na terenie obiektu lub w tle. Przeważnie więcej ich było w próbkach powietrza pobieranych przy ogrodzeniu (bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae*), sporadycznie 25 m od obiektu (rys. 1).

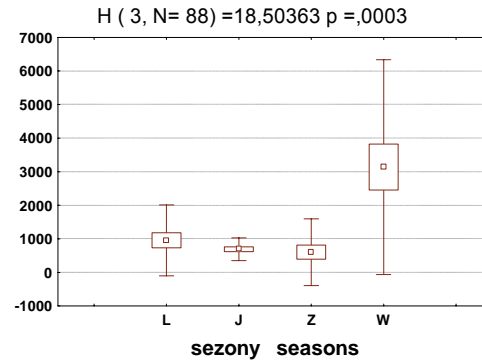
Wyniki badań własnych z innego obiektu hydrofitowego wskazują, że zasięg rozprzestrzeniania się mikroorganizmów, określanych jako wskaźnikowe, będący jednym z mierników oddziaływania oczyszczalni ścieków, jest niewielki i zazwyczaj ogranicza się do ogrodzenia obiektu [KORZENIEWSKA i in., 2008].

Zasięg oddziaływania na otoczenie obiektów oczyszczających ścieki komunalne na podstawie podwyższonej liczebności bakterii coli typu kałowego oraz paciorkowców kałowych w powietrzu CAMANN i in. [1988] określili na ok. 200 m. Wyniki badań KULIGA

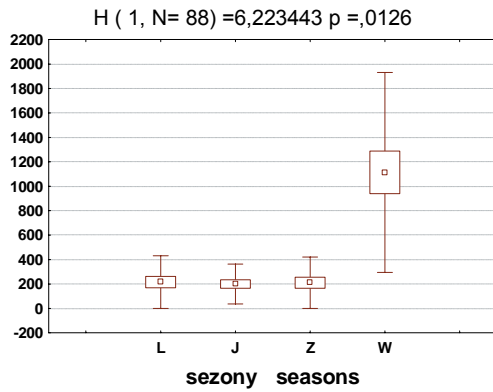
a)



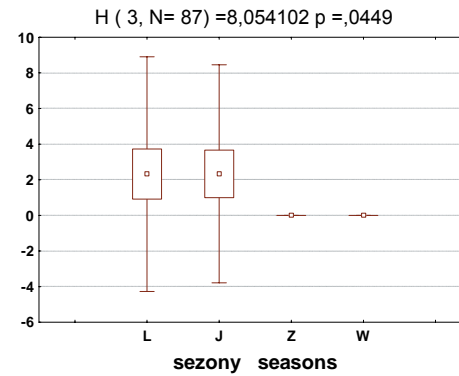
b)

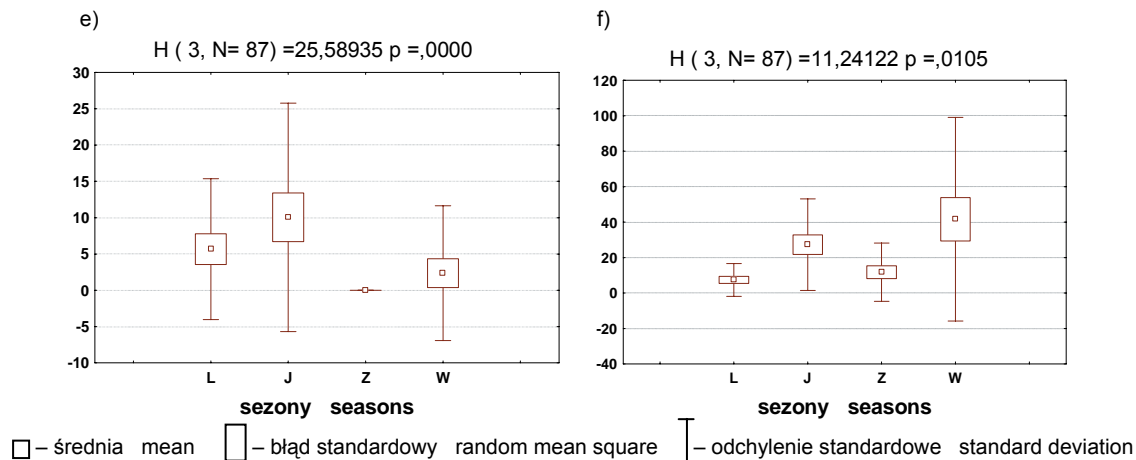


c)



d)





Rys. 2. Średnia liczebność bakterii, odchylenie standardowe i błąd standardowy ( $\text{jtk} \cdot \text{m}^{-3}$ ) w próbkach powietrza pobieranych w poszczególnych porach roku: a) bakterie psychrofilne, b) bakterie psychrotrofowe, c) bakterie mezofilne, d) bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae*, wyrosłe na podłożu Endo, e) bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae*, wyrosłe na podłożu Chromocult, f) promieniowce; L – lato, J – jesień, Z – zima, W – wiosna (zmienna niezależna – grupująca – stanowisko poboru próbek, test ANOVA rang Kruskala-Wallisa)

Fig. 2. Mean number of bacteria, standard deviation and standard error ( $\text{cfu} \cdot \text{m}^{-3}$ ) of: a) psychrophilic bacteria, b) psychrotrophic bacteria, c) mesophilic bacteria, d) *Enterobacteriaceae* bacteria, isolated in Endo medium, e) *Enterobacteriaceae* bacteria, isolated in Chromocult medium, f) actinomycetes in air samples collected during different seasons; L – summer, J – autumn, Z – winter, W – spring (independent variable, grouping variable: sampling site, ANOVA test of Kruskal-Wallis ranks)

[2004] potwierdzają, że w odległości 200 m od źródeł emisji występuje znaczne obniżenie stopnia mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza.

Rozpatrując zanieczyszczenie powietrza w poszczególnych porach roku, stwierdzono największe zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego na terenie i w otoczeniu badanej oczyszczalni hydrofitowej wszystkimi grupami bakterii (poza bakteriami wytwarzającymi barwniki i bakteriami z rodziny *Enterobacteriaceae*) przeważnie wiosną, a najmniejsze zimą (rys. 2). Większą liczebność oznaczanych bakterii wiosną można tłumaczyć intensyfikacją procesów technologicznych, natomiast mniejszą zimą – pokryciem stawów biologicznych warstwą lodu, a podzespołów oczyszczalni śniegiem. Uniemożliwiło to prawdopodobnie nawiewanie bakterii przez wiatr z podzespołów do atmosfery. Podobny układ zmian sezonowych liczebności bakterii był obserwowany również na innych oczyszczalniach [FILIPKOWSKA, KORZEKWA, 1999; KORZENIEWSKA i in., 2008; TONG, LIGHTHART, 2000]. Bakterie wytwarzające barwniki w powietrzu na wyznaczonych stanowiskach najliczniej występowały latem. Może to być związane z większą odpornością na promieniowanie słoneczne tych form bakterii niż form bezbarwnych. Potwierdzają to w swoich badaniach SHAFFER i LIGHTHART [1997] oraz FRACCHIA i in. [2006]. Po przedostaniu się do powietrza bakterie nie znajdują dogodnych warunków do przeżycia, co może tłumaczyć ich niewielką liczbę i ubogi skład rodzajowy w próbkach powietrza pobieranego na terenie oczyszczalni. Śmiertelność mikroorganizmów podczas rozprzestrzeniania się w powietrzu jest funkcją wielu czynników, np.: rodzaju i właściwości komórek, wilgotności względnej, temperatury powietrza, stężenia tlenu, natężenia promieniowania ultrafioletowego [JANOWIEC, 1988]. Bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae* występowały liczniej latem i jesienią, kiedy temperatura wahała się od 20,3 do 40,0°C, co mogło wpływać na ich dłuższą przeżywalność w powietrzu. W badanych próbkach powietrza na terenie i w otoczeniu oczyszczalni ich liczba wynosiła od 0 do 70 jtk·m<sup>-3</sup>. KAŻMIERCZUK, KALISZ i SALBUT [2004] w swoich badaniach udowadniają, że bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae* w liczbie mniejszej niż 100 jtk·m<sup>-3</sup> oraz bakterie hemolizujące w liczbie mniejszej niż 50 jtk·m<sup>-3</sup> są stale obecne w powietrzu atmosferycznym i można je brać pod uwagę jako tło skażeń biologicznych w powietrzu niezanieczyszczonym.

Analizując różnice wyników uzyskanych obiema metodami poboru próbek powietrza bez względu na stanowisko, sezon badawczy oraz warunki meteorologiczne, stwierdzano przeważnie większą liczebność oznaczanych drobnoustrojów w powietrzu pobieranym metodą sedymentacyjną. Metoda zderzeniowa jest prosta i łatwa w zastosowaniu oraz umożliwia pobranie określonej objętości zasysanego powietrza i równomierny wzrost jednostek tworzących kolonie na powierzchni płytki. Mniejsza liczebność oznaczanych bakterii w próbkach powietrza oznaczanych tą metodą może jednak wynikać z odbijania od podłoża części drobnoustrojów podczas zasysania powietrza przez aparat [KAŻMIERCZUK, KALISZ, SALBUT, 2004].

Zgodnie z kryteriami oceny stopnia bakteriologicznego zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, podanymi w normach PN-89-Z-04111/02 i prPN-Z-04111-2, badane powietrze na terenie i w otoczeniu oczyszczalni ścieków było przeważnie mało lub średnio zanieczyszczone. Niewielkie ilości typowo ściekowych bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* oraz brak bakterii z rodzaju *Enterococcus* w próbkach powietrza na terenie i w otoczeniu oczyszczalni hydrofitowej wskazują na niewielkie oddziaływanie na otaczające środowisko lub jego brak.

## WNIOSKI

1. W świetle kryteriów dotyczących stopnia bakteriologicznego zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, podanych w normach PN-89-Z-04111/02 i prPN-Z-04111-2, powietrze na terenie i w otoczeniu badanej hydrofitowej oczyszczalni ścieków było zazwyczaj niezanieczyszczone mikrobiologicznie. Powietrze średnio i silnie zanieczyszczone stwierdzano sporadycznie przy osadniku pionowym, poletku trzcinowym oraz zbiorniku magazynowania osadu.

2. Najwięcej bioaerozoli na terenie oczyszczalni ścieków emitowały osadnik pionowy i komora magazynowania osadów. Emisja aerozoli biologicznych ze stawów biologicznych była niewielka, co może wynikać z zastosowania w tych układach systemu wglębnego napowietrzania.

3. Na terenie i w otoczeniu oczyszczalni ścieków stwierdzono statystycznie istotne różnice w liczebności poszczególnych grup badanych drobnoustrojów w powietrzu pobieranym różnymi metodami oraz w różnych sezonach badawczych. Największą średnią ich liczebność stwierdzano zazwyczaj w próbkach powietrza pobieranego metodą sedymentacyjną oraz w okresie wiosennym (poza bakteriami wytwarzającymi barwniki i bakteriami z rodziny *Enterobacteriaceae*, których maksymalną liczebność stwierdzano latem i jesienią), najmniejszą zaś zimą.

4. Niewielkie ilości typowo ściekowych bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* oraz brak bakterii z rodzaju *Enterococcus* w próbkach powietrza na terenie i w otoczeniu oczyszczalni hydrofitowej wskazuje na niewielkie jej oddziaływanie na otaczające środowisko lub jego brak.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych MNiI na naukę w latach 2005–2007 jako projekt badawczy nr 3 T09D 079 28.

## LITERATURA

- ALCAMO I. E., 2000. Fundamentals of microbiology. Boston, London, Toronto, Singapore: Jones Bartlett Publ. ss. 832.
- BLANCHARD D.C., SYZDEK L.D., 1982. Water to air transfer and enrichment of bacteria in drops from bursting bubbles. Appl. Env. Microbiol. 43 (5) s. 1001–1005.
- BRIX H., 1994. Functions of macrophytes in constructed wetlands. Water Sci. Tech. 29 4 s. 71–78.
- CAMANN D.E., MOORE B.E., HARDING J.C., SORBER CH. A., 1988. Microorganisms levels in air near spray irrigation of municipal wastewater: the Lubbock infection surveillance study. J. Water Poll. Control Fed. 60 11 s. 1960–1970.
- CARDUCCI A., TOZZI E., RUBULOTTA E., CASINI B., CANTIANI L., ROVINI E., MUSCILLO M., PACINI R., 2000. Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment. Water Res. vol. 34 (4) s. 1173–1178.
- CHUNG H., JAYKUS L.A., LOVELCE G. SOBSEY M.D., 1998. Bacteriophages and bacteria as indicators of enteric viruses in oysters and their harvest waters. Water Sci. Tech. 38 12 s. 37–44.
- CYPROWSKI M., SZARPIŃSKA-KWASZEWSKA J., DUDKIEWICZ B., KRAJEŃSKI J.A., SZADKOWSKA-STAN-CZYK I., 2005. Ocena narażenia pracowników oczyszczalni ścieków na czynniki szkodliwe występujące w miejscu pracy. Medycyna Pracy 56 3 s. 213–222.

- DECAMP O., WARREN A., 1998. Bacterivory in ciliates isolated from constructed wetlands (reed beds) used for wastewater treatment. *Water Res.* 32 7 s. 1989–1996.
- FILIPKOWSKA Z., 2006. Sanitarno-bakteriologiczne aspekty oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych na filtrach gruntowo-roślinnych. *Rozpr. Habil. Olsztyn: Wydaw. UWM* ss. 109.
- FILIPKOWSKA Z., JANCZUKOWICZ W., KRZEMIENIEWSKI M., PESTA J., 2002a. Miejska oczyszczalnia ścieków w Pasłęku źródłem mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza. *Biul. Nauk.* 17 s. 119–128.
- FILIPKOWSKA Z., JANCZUKOWICZ W., KRZEMIENIEWSKI M., PESTA J., 2002b. Municipal waste water treatment plant with activated-sludge tanks aerated by Celpox devices as a source of microbiological pollution of the atmosphere. *Pol. J. Env. Stud.* 11 6 s. 639–648.
- FILIPKOWSKA Z., KORZEKWA K., 1999. Miejska oczyszczalnia ścieków źródłem mikroorganizmów zanieczyszczających powietrze. *Inż. Ochr. Środ.* 2 (3–4) s. 333–345.
- FRACCHIA F., PIETRONAVE S., RINALDI M., MARTINOTTI M.G., 2006. Site-related airborne biological hazard and seasonal variations in two wastewater treatment plants. *Water Res.* 40 s. 1985–1994.
- JANOWIEC M., 1988. *Mikrobiologia i serologia*. Warszawa: PZWŁ s. 396.
- KALISZ L., KAŻMIERCZUK M., SALBUT J., 1994. Miejska oczyszczalnia ścieków jako źródło mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 7 (199) s. 33–54.
- KALUŻEWSKI S., 2007. Groźne i niegroźne pałeczki *Klebsiella*: <http://www.alergia.org.pl/pacjent/inne/inne.htm>
- KAŻMIERCZUK M., KALISZ L., 1999. Bioaerozole w oczyszczalniach ścieków miejskich. *Ochr. Środ. Zasob. Nat.* 17 s. 121–136.
- KAŻMIERCZUK M., KALISZ L., SALBUT J., 2004. Mikrobiologiczne zanieczyszczenia powietrza w otoczeniu obiektów gospodarki komunalnej. *Monografia*. Warszawa: IOŚ ss. 67.
- KOLWZAN B., ADAMIAK W., GRABAS K., PAWELCZYK A., 2005. *Podstawy mikrobiologii w ochronie środowiska*. Wrocław: Ofic. Wydaw. PWroc. ss. 117.
- KORZENIEWSKA E., FILIPKOWSKA Z., GOTKOWSKA-PLACHTA A., JANCZUKOWICZ W., 2008. Bakteriologiczne zanieczyszczenie powietrza na terenie i w otoczeniu oczyszczalni ścieków z systemem filtrów gruntowo-roślinnych. *Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 8 z. 1 (22)* s. 161–173.
- KOTTON-CZARNECKA M., CHRÓST R.J., 2001. Protozoan grazing on bacteria in aquatic ecosystems. *Post. Mikrobiol.* 40 2 s. 219–240.
- KRĘGIEL D., DREWICZ E., 2000. Enterokrwiotoczne szczepy *Escherichia coli*. *Post. Mikrobiol.* 39 2 s. 177–187.
- KRZYSZTOFIK B., 1992. *Mikrobiologia powietrza*. Warszawa: Ofic. Wydaw. PW ss. 198.
- KULIG A., 2004. *Metody pomiarowo-obliczeniowe w ocenach oddziaływania na środowisko obiektów gospodarki komunalnej*. Warszawa: Ofic. Wydaw. PW ss. 208.
- KULIG A., OSSOWSKA-CYPRYK K., 1999. Problematyka badań mikrobiologicznych w ocenach oddziaływania na środowisko obiektów komunalnych – zagadnienia metodyczne. *Probl. Ocen Środ.* 1 s. 51–58.
- KOWAL N.E., 1985. Health effects of land application of municipal. *EPA/1-85/015* ss. 17.
- ŁOMOTOWSKI J., SZPINDOR A., 2002. *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*. Warszawa: Arkady ss. 456.
- MAHON C. R., MANUSELIS G., 2000. *Textbook of diagnostic microbiology*. Philadelphia, London, Toronto, Montreal, Sydney, Tokyo: W. B. Saunders Comp. ss. 1230.
- OBARSKA-PEMPKOWIAK H., 2002. *Oczyszczalnie hydrofitowe*. Gdańsk: Wydaw. PGdań. ss. 213.
- OBARSKA-PEMPKOWIAK H., 2005. *Oczyszczalnie hydrofitowe w świetle przepisów UE*: [http://www.wbiis.tu.koszalin.pl/konferencja/konferencja2005/2005/04obarska-pempkowiak\\_t.pdf](http://www.wbiis.tu.koszalin.pl/konferencja/konferencja2005/2005/04obarska-pempkowiak_t.pdf) 7 Ogólnop. Konf. Nauk. Koszalin. s. 20.
- PN-89/Z-04111/01. *Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Postanowienia ogólne i zakres normy*.

- PN-89/Z-04111/02. Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
- prPN-Z-04111-1: 2004. Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Terminologia, pobieranie i posiew próbek w badaniach bakteriologicznych i mykologicznych.
- prPN-Z-04111-2: 2004. Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Ocena stopnia bakteriologicznego i mykologicznego zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego.
- SHAFFER B., T., LIGHTHART B. 1997. Survey of culturable airborne bacteria at four diverse locations in Oregon: urban, rural, forest and coastal. *Mikrobiol. Ecol.* 34 s. 167–177.
- STANISZ A., 2006. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. T. 1. Statystyki podstawowe. Kraków: StatSoft Polska ss. 532.
- THORN J., KERÉKES E., 2001. Health effects among employees in sewage treatment plants. *Am. J. Ind. Med.* 40 s. 170–179.
- TONG Y., LIGHTHART B., 2000. The annual bacterial particle concentration and size distribution in the ambient atmosphere in rural area of the Willamette Valley, Oregon. *Aerosol. Sci. Technol.* 32 s. 393–403.

*Anna GOTKOWSKA-PLACHTA, Zofia FILIPKOWSKA, Ewa KORZENIEWSKA,  
Wojciech JANCZUKOWICZ*

#### **MICROBIOLOGICAL CONTAMINATION OF ATMOSPHERIC AIR IN THE CONSTRUCTED WETLAND (WITH AERATED AND STABILIZATION PONDS) AND IN ITS SURROUNDING**

*Key words: air, bacteria, constructed wetland*

#### **S u m m a r y**

Atmospheric air was analysed on the premises and in the surrounding of a constructed wetland in Biesal, treating  $170 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  of domestic wastewater, which operates in a system of five-stage aerated pond, stabilization pond and a reed bed with horizontal flow. The following microorganisms were assayed: heterotrophic psychrophilic, psychrotrophic and mesophilic bacteria and some physiological groups of microorganisms of the family *Enterobacteriaceae*, genera *Staphylococcus* and *Enterococcus*, species *Pseudomonas fluorescens*, haemolysing bacteria and actinomycetes. Air for the assays was sampled in summer, autumn, winter and spring, with two parallel methods (sedimentation and impact) at six sites located on the premises of the constructed wetland and at four other sites in its surrounding. The background was selected, depending on wind direction, on the windward side of the constructed wetland. The microbiological tests were accompanied by measurements of the air temperature and humidity and wind velocity. Statistical analyses of the results showed significant differences in the number of analysed groups of microorganisms in the air sampled with different methods and in different seasons. The highest mean number of microorganisms was typically determined in air samples collected with the sedimentation method and in the spring season (except for bacteria of the family *Enterobacteriaceae*, which were most numerous in summer and autumn) and lowest results were obtained in winter. No statistically significant differences were found between the numbers of analysed microorganisms in the air sampled at particular sampling sites, although the microorganisms occurred in higher numbers in the air collected near the vertical sedimentation tank, sludge storage tank and, sporadically, 25 m from the fence of the wastewater treatment plant. According to the

norms set for bacteriological contamination of atmospheric air [PN-89-Z-04111/02, prPN-Z-04111-2], the air sampled on the premises and in the surrounding of the constructed wetland was evaluated as being unpolluted or moderately polluted.

---

**Recenzenci:**

*prof. dr hab. Wiesław Barabasz*

*prof. dr hab. Maria Król*

Praca wpłynęła do Redakcji 19.09.2007 r.