

## BAKTERIOLOGICZNE ZANIECZYSZCZENIE POWIETRZA NA TERENIE I W OTOCZENIU OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW Z SYSTEMEM FILTRÓW GRUNTOWO-ROŚLINNYCH

Ewa KORZENIEWSKA<sup>1)</sup>, Zofia FILIPKOWSKA<sup>1)</sup>,  
Anna GOTKOWSKA-PLACHTA<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 przeprowadzono na terenie i w otoczeniu oczyszczalni hydrofitowej w Łęgutach, z filtrami gruntowo-roślinnymi o pionowym i poziomym podpowierzchniowym przepływie ścieków bytowo-gospodarczych, o przepustowości  $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . 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 metodą sedymentacyjną i zderzeniową na 7 stanowiskach usytuowanych na terenie oczyszczalni (przy: dopływie ścieków, osadniku Imhoffa, I i II filtryze gruntowo-roślinnym – FGR – z przepływem pionowym, osadniku pionowym, FGR z przepływem poziomym, poletku trzcinowym) oraz na 4 stanowiskach usytuowanych w jej otoczeniu. Tło wyznaczano w zależności od kierunku wiatru po stronie nawietrznej w stosunku do położenia oczyszczalni. Ponadto prowadzono pomiary temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru na poszczególnych stanowiskach badawczych. Stwierdzono statystycznie istotne różnice liczebności poszczególnych grup badanych drobnoustrojów w powietrzu pobieranym różnymi metodami oraz w różnych porach roku. Największą średnią ich liczebność stwierdzano zazwyczaj w próbkach powietrza pobieranego metodą sedymentacyjną, a jeśli rozpatruje się zmienność w ciągu roku – latem, najmniejszą zaś zimą. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w liczebności badanych grup drobnoustrojów w powietrzu pobieranym na poszczególnych stanowiskach badawczych. Jednakże większą ich liczebność stwierdzano w powietrzu pobieranym na

---

Adres do korespondencji: dr inż. E. Korzeniewska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Katedra Mikrobiologii Środowiskowej, ul. Prawocheńskiego 1, 10-957 Olsztyn; tel. +48 (89) 523-37-52, e-mail: ewa.korzeniewska@uwm.edu.pl

stanowiskach usytuowanych na terenie oczyszczalni ścieków, szczególnie przy dopływie ścieków, osadniku Imhoffa oraz przy pionowych filtrach gruntowo-roślinnych. Uwzględniając kryteria oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego podane w Polskich Normach, poza nielicznymi wyjątkami, powietrze pobierane zarówno na terenie, jak i w otoczeniu oczyszczalni można zaklasyfikować jako mało zanieczyszczone. Nie stwierdzono podwyższonej emisji badanych grup drobnoustrojów, w tym również pochodzenia kałowego, poza obszar terenu oczyszczalni.

## WSTĘP

Systemy hydrofitowe, dość popularne w okresie ostatnich dwudziestu lat, znalazły zastosowanie w procesach oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych, przemysłowych i wód opadowych, a także odcieków z wysypisk [FILIPKOWSKA, 2006; OBARSKA-PEMPKOWIAK, 2002]. Hydrofitowa metoda oczyszczania ścieków jest procesem biologicznym, zachodzącym z udziałem mikroorganizmów heterotroficznych oraz roślin wodnych i wodolubnych. Roślinami zasiedlającymi tego typu obiekty są najczęściej trzcina pospolita (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), wierzba wiciowa (*Salix viminalis* L.) i pałka szerokolistna (*Typha latifolia* L.) [BRIX, 1994]. Rośliny – pobierając związki biogenne – oczyszczają ścieki, a zmniejszanie zanieczyszczeń w gruncie następuje dzięki mikroflorze egzystującej w glebie, na korzeniach i łodygach roślin oraz dzięki przebiegającym tam procesom fizykochemicznym [BRIX, 1999; GERSBERG i in., 1986]. W ściekach mogą występować organizmy patogenne, pochodzące zarówno od człowieka, jak i od zwierząt. Są to: *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Leptospira* spp., *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Vibrio cholerae*, *Yersinia* spp. Rzadziej, bądź w mniejszych ilościach, występują w nich: *Aeromonas* spp., *Clostridium perfringens*, *Pseudomonas aeruginosa* czy *Staphylococcus aureus* [KOWAL, 1982; 1985]. Eliminacja drobnoustrojów w procesie oczyszczania ścieków na FGR jest wynikiem kombinacji czynników fizycznych (sedymentacja, filtracja, adsorbacja), chemicznych (potencjał utleniająco-redukcyjny, toksyczność) oraz biologicznych (współzawodnictwo o warunki pokarmowe, wyzerowywanie, działalność lityczna bakterii i bakteriofagów oraz wytwarzanie bakteriocyn) [CHUNG i in., 1998; DECAMP, WARREN, 1998; KOTON-CZARNECKA, CHRÓST, 2001; KRĘGIEL, DREWICZ, 2000]. Oczyszczalnie tego typu mogą być jednakże źródłem emisji wielu związków chemicznych i bioaerozoli do powietrza atmosferycznego, stanowiąc jedno z potencjalnych źródeł zagrożenia dla człowieka [BARABASZ, ALBIŃSKA, BARABASZ, 2005; KAŻMIERCZUK, KALISZ, SAŁBUT, 2004]. Rodzaj, wielkość i zasięg emisji zależą od charakteru obiektów. Drobnoustroje, przedostając się ze ścieków w formie bioaerozolu do powietrza, są poddawane działaniu licznych czynników niesprzyjających ich rozwojowi. Część z nich ginie w ciągu kilku sekund, głównie z powodu wysuszenia, zbyt wysokiej lub zbyt niskiej temperatury, jak również wskutek nadmiernego promieniowania słonecznego. Jednakże część drobnoustrojów wytworzyła specyficzne mechanizmy, które umożliwiają przeciwstawianie się niekorzystnym warunkom środowiska, ograniczającym ich aktywność biologiczną [KAŻMIERCZUK, KALISZ, SAŁBUT, 2004]. Dlatego też liczba mikroorganizmów w powietrzu wydaje się jednym z ważniejszych wskaźników zanieczyszczenia atmosfery. W związku z powyższym celem niniejszej pracy było zbadanie zasięgu ich rozprzestrzenienia od źródła emisji, którym może być hydrofitowa oczyszczalnia ścieków.

## METODY BADAŃ

**Teren badań i lokalizacja stanowisk badawczych.** Badania zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza prowadzono na terenie i w otoczeniu hydrofitowej oczyszczalni ścieków w Łęgutach, o przepustowości  $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , z filtrami gruntowo-roślinnymi (w dalszej części pracy zwanymi FGR) o podpowierzchniowym hybrydowym (pionowym i poziomym) przepływie ścieków. Złoża były obsadzone trzcina pospolitą (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.). Na terenie oczyszczalni zlokalizowanych było 7 stanowisk badawczych, przy: dopływie ścieków, osadniku Imhoffa, I i II FGR z przepływem pionowym, osadniku pionowym, FGR z przepływem poziomym oraz poletku trzcinowym. W otoczeniu oczyszczalni ścieków wytypowano 4 stanowiska badawcze: przy ogrodzeniu oczyszczalni ścieków, w odległości 0–25, 25–50 i 50–100 m od ogrodzenia oczyszczalni. Stanowisko kontrolne (tło) zawsze było usytuowane po stronie nawietrznej. Typując stanowiska poboru próbek powietrza, kierowano się miejscami, których emisja aerozoli i pyłów bakteryjnych mogła być największa. Wzięto również pod uwagę kierunki wiatrów, wiejących w tych dniach na tym terenie, jak również odległość od granicy badanego obiektu.

**Badania mikrobiologiczne.** Badania próbek powietrza atmosferycznego prowadzono równoległe metodą sedymentacyjną i zderzeniową latem i jesienią 2006 r. oraz zimą i wiosną 2007 r. zgodnie z obowiązującymi normami PN-89-Z-04111/01 i propozycją do norm prPN-Z-04111-1. Zakres badań mikrobiologicznych obejmował oznaczenie ogólnej 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 gatunku *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 rodzaju *Enterococcus* na podłożu Slanetza-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 24 h inkubacji.

Oznaczając liczebność bakterii z gatunku *Pseudomonas fluorescens*, hodowle sprawdzano w świetle lampy UV Wooda, zliczając kolonie wytwarzające fluoresceinę i/lub picyjaninę.

Typowe kolonie bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, wyrosłe na podłożach Endo i Chromocult oraz z rodzaju *Staphylococcus*, wyizolowane na podłożu Chapmana (kolonie otoczone żółtą strefą), przeszczepiano na podłoże bulion-agar z dodatkiem 2% glukozy i 7% krwi baraniej, w celu namnożenia i wykrycia ich zdolności hemolizujących. Do dalszej identyfikacji bakterie te poddano dodatkowym testom biochemicznym.

W przypadku bakterii wyrosłych na podłożach Endo i Chromocult określano zdolność wytwarzania enzymu oksydazy cytochromowej (za pomocą 1% roztworu tetrametylo-p-fenylodwuaminy). Ostatecznie bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae* identyfikowano, stosując testy API 20E (firmy bioMerieux).

W przypadku bakterii z rodzaju *Staphylococcus* sprawdzano zdolność wytwarzania enzymu katalazy (za pomocą 3% wody utlenionej). Końcową identyfikację przeprowadzono, stosując testy API Staph (firmy bioMerieux). Wszystkie wyżej wymienione oznaczenia były poprzedzone określeniem zdolności ruchu bakterii i ich stosunku do barwienia metodą Grama.

**Badania meteorologiczne.** Równoległe do badań mikrobiologicznych prowadzono obserwacje wybranych parametrów meteorologicznych. Określano kierunek i siłę wiatru, a za pomocą specjalnego aparatu temperaturę powietrza oraz 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 0–0,9; jesienią 0,1–4,9; zimą 0–1,1, a wiosną 0–2,4. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) latem wahała się w zakresie od 30,0 do 31,3; jesienią od 15,7 do 24,6; zimą 1,5 do 9,3; wiosną od 18,2 do 22,3. Wilgotność powietrza ( $\%$ ) wynosiła latem 49–72, jesienią 57–81, zimą 30,9–72,5, a wiosną 32–36%.

**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 między sobą, posłużono się jednozmienną 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  $p = 0,05$ , zakładając że wariancje dla liczebności badanych grup bakterii są jednorodne [STANISZ, 2006].

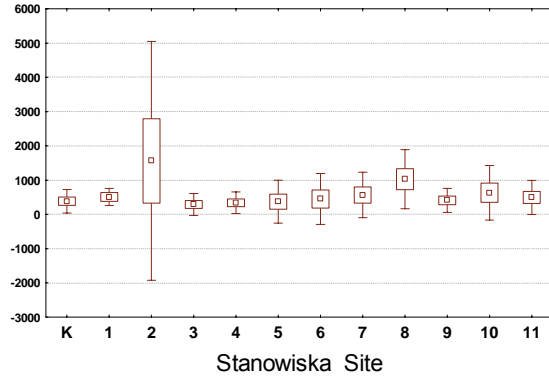
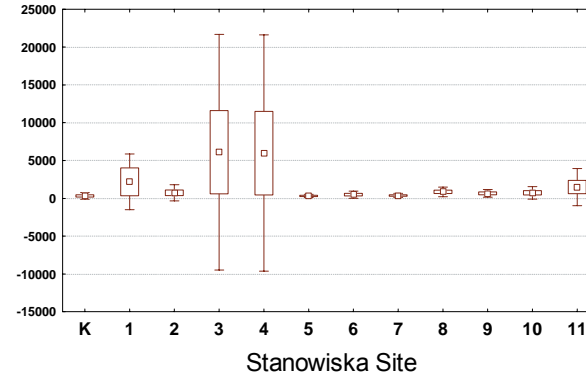
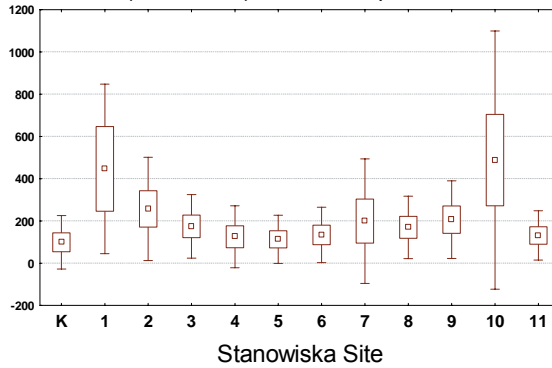
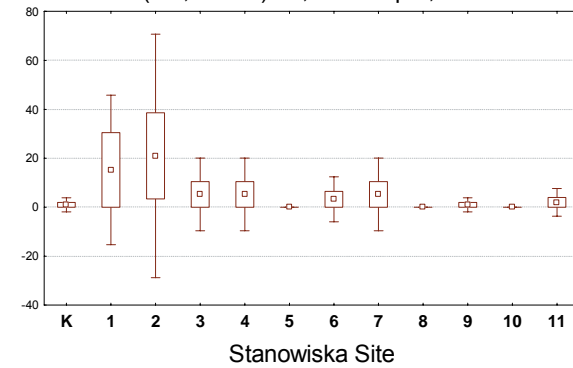
## WYNIKI I DYSKUSJA

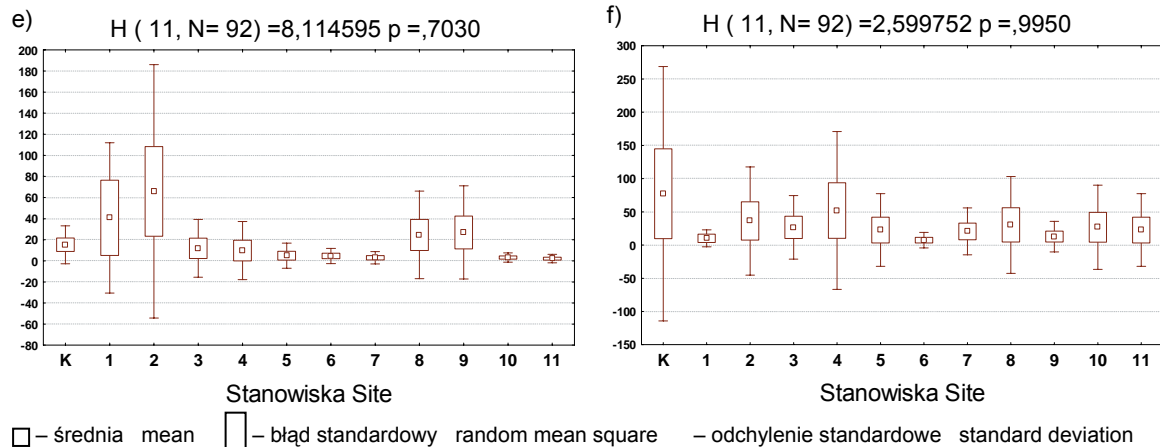
Oczyszczalnie ścieków są źródłem powstawania aerozoli biologicznych i stanowią element zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego [FILIPKOWSKA i in., 2000a, b; 2002]. W ściekach występują liczne mikroorganizmy saprofityczne oraz oportunistyczne, a niekiedy chorobotwórcze lub potencjalnie chorobotwórcze. Ścieki bytowo-gospodarcze charakteryzują się bogatą mikroflorą, w skład której wchodzi bakterie należące do rodzin: *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Lactobacillaceae* i *Micrococcaceae* oraz liczne grzyby strzępkowe, jak pleśnie lub drożdże i drożdżopodobne [KAŹMIERCZUK, KALISZ, SAŁBUT, 2004]. Liczne badania wykazały, że poddawanie ścieków procesom technologicznym w oczyszczalni ścieków, takim jak napowietrzanie czy mieszanie, powoduje powstawanie drobnych kropeł, które przedostają się wraz z zawartymi w nich mikroorganizmami do powietrza [KULIG, 2003; KULIG, OSSOWSKA-CYPRYK, 1999; RANALLI, PRINCIPI, SORLINI, 2000]. BLANCHARD i SYZDEK [1982] stwierdzili, że cienka warstewka powierzchniowa

ścieków ma największy udział w emisji aerozoli do powietrza. Dlatego też uzasadniona jest stwierdzona największa liczebność drobnoustrojów pochodzenia kałowego w powietrzu pobieranym bezpośrednio przy dopływie ścieków (rys. 1). Potwierdza to także zwiększona różnorodność gatunkowa bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, izolowanych z powietrza w pobliżu tego obiektu. W bliskim sąsiedztwie dopływu ścieków znajduje się osadnik Imhoffa. Jest to zbiornik otwarty, w związku z czym jest on również znaczącym źródłem emisji do powietrza zarówno bakterii mezofilnych, jak i bakterii pochodzenia jelitowego (rys. 2). Z powietrza w pobliżu tych obiektów izolowano bakterie z rodzajów *Klebsiella*, *Serratia* oraz *Pantoea*. Należą do nich bakterie potencjalnie patogenne, wywołujące u człowieka schorzenia układu oddechowego i/lub innych układów wewnętrznych [KAŁUŻEWSKI, 2007; KAŻMIERCZUK, KALISZ, SALBUT, 2004]. W próbkach powietrza pobieranych na tych stanowiskach stwierdzano także zwiększoną liczebność mikroorganizmów mezofilnych, wśród których na podłożu z dodatkiem krwi izolowano duże ilości bakterii hemolizujących. Podobne wyniki uzyskali FRACCHIA i in. [2006], badając powietrze na terenie dwóch oczyszczalni ścieków w prowincji Piedmont na północy Włoch. Badania wspomnianych autorów wykazywały dużą liczebność bakterii mezofilnych w powietrzu przy dopływie ścieków, dochodzącą do  $4 \cdot 10^4$  jtk $\cdot$ m $^{-3}$ . Mogło to wynikać z rozbryzgiwania się ścieków przepływających z dużą prędkością o betonowe ściany. Ulegają one wówczas silnej dyspersji, a wytwarzający się przy tym strumień powietrza jest w stanie z łatwością unieść oderwane cząsteczki ścieków. Liczebność badanych grup drobnoustrojów w powietrzu pobieranym na pozostałych stanowiskach zarówno na terenie, jak i w otoczeniu oczyszczalni w Łęgutach była mniej więcej wyrównana (rys. 1). Bakterie z gatunku *Pseudomonas fluorescens*, bakterie hemolizujące oraz bakterie z rodzajów *Staphylococcus* i *Enterococcus*, w powietrzu pobieranym zarówno na terenie, jak i w otoczeniu badanej oczyszczalni występowały sporadycznie, niezależnie od miejsca i czasu poboru próbek.

Porównując wyniki analiz próbek powietrza pobieranych metodą sedymentacyjną i zderzeniową w ciągu całego okresu badawczego na terenie i w otoczeniu badanej oczyszczalni, stwierdzano większą liczebność badanych grup drobnoustrojów w powietrzu pobieranym metodą sedymentacyjną, z wyjątkiem ogólnej liczby bakterii psychrofilnych i psychrotrofowych. KRZYSZTOFIK [1992] za TURZECKIM i OLENOWEM podaje, że na podstawie 179 pomiarów zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego pobieranego metodą sedymentacyjną oraz metodą zderzeniową z zastosowaniem aparatu Krotowa stwierdzano, że liczebność badanych grup bakterii w próbkach pobranych pierwszą metodą po przeliczeniu na objętość 1 m $^3$  jest 3–6-krotnie większa niż w pobranych drugą z metod. Można to tłumaczyć sposobem pobierania próbek powietrza – gdy stosuje się metodę zderzeniową, pewna część mikroorganizmów może być porwana przez silny strumień powietrza, który wytwarza próbnik powietrza, przez co część z nich może nie zatrzymać się na pożywce umieszczonej w aparacie. Ponadto część mikroorganizmów podczas zasysania powietrza przez aparat odbija się od podłoża, co również może zaniżać wyniki analizy [KAŻMIERCZUK, KALISZ, SALBUT, 2004].

Analizując zanieczyszczenie powietrza w poszczególnych porach roku, stwierdzono występowanie maksymalnej liczebności badanych grup bakterii na ogół latem, a promieniowców wiosną, minimalne zaś w sezonie zimowym. Podobne wyniki uzyskali TONG i LIGHTHART [2000], stwierdzając największą koncentrację komórek bakteryjnych w powietrzu pobieranym latem na terenie obszarów wiejskich. Badając mikroflorę powietrza

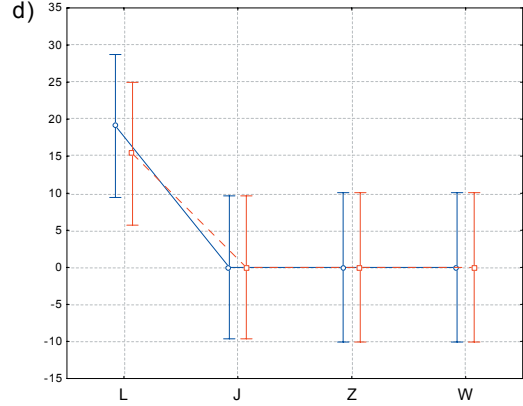
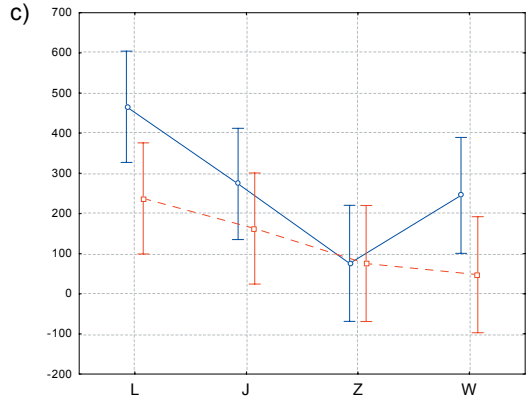
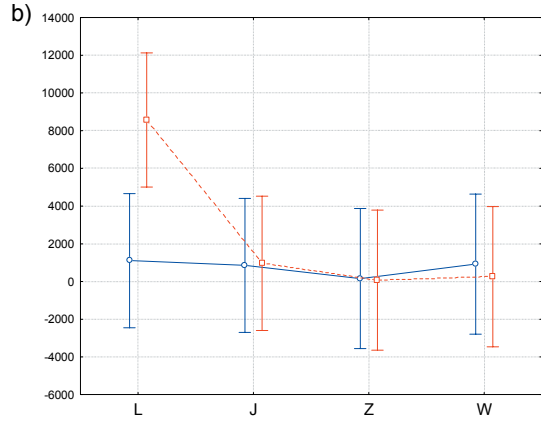
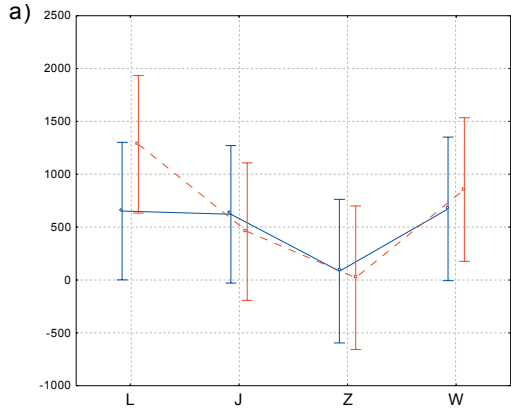
a)  $H(11, N=92) = 6,935286$   $p = ,8043$ b)  $H(11, N=92) = 7,329447$   $p = ,7718$ c)  $H(11, N=92) = 11,12721$   $p = ,4327$ d)  $H(11, N=92) = 5,906718$   $p = ,8795$ 



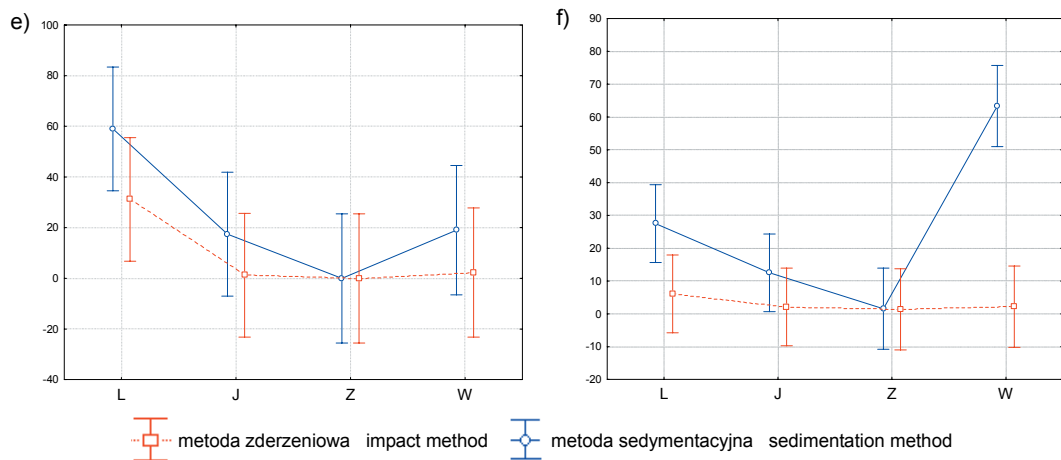
Rys. 1. Średnia liczebność bakterii, odchylenie standardowe i błąd standardowy ( $\text{jtk} \cdot \text{m}^{-3}$ ) w próbkach powietrza pobieranych w całym okresie badawczym: a) bakterie psychrofilne, b) bakterie psychrotrofowe, c) bakterie mezofilne, d) bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae*, wyrosłe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

Fig. 1. Mean numbers 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 on Endo medium, e) *Enterobacteriaceae* bacteria, isolated on Chromocult medium, f) actinomycetes in air samples collected during the whole study period; K – control site, 1 – sewage inflow, 2 – Imhoff tank, 3 – I vertical flow reed bed, 4 – II vertical flow reed bed, 5 – vertical sedimentation tank, 6 – horizontal flow reed bed, 7 – sludge settling reed bed, 8 – fence, 9 – 0–25 m, 10 – 25–50 m, 11 – 50–100 m from the fence (independent variable – grouping variable – sampling site, ANOVA test of Kruskal-Wallis ranks)

Wilks' Lambda =0,60241, F(18, 223,93) = 2,4414, p = 0,00129







Rys. 2. Oczekiwane średnie brzegowe liczby bakterii (jtk·m<sup>-3</sup>) w próbkach powietrza pobieranego metodą sedymentacyjną i zderzeniową w różnych 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; dekompozycja efektywnych hipotez; pionowe słupki oznaczają 0,95 przedziały ufności (zmiennie niezależne – metoda i sezon poboru próbek)

Fig. 2. Expected marginal means of bacteria (cfu·m<sup>-3</sup>) from air samples collected by impact and sedimentation methods during different seasons: a) psychrophilic bacteria, b) psychrotrophic bacteria, c) mesophilic bacteria, d) *Enterobacteriaceae* bacteria isolated on Endo medium, e) *Enterobacteriaceae* bacteria isolated on Chromocult medium, f) actinomycetes; L – summer, J – autumn, Z – winter, W – spring; decomposition of effective hypotheses; vertical columns mean 0.95 confidence intervals (independent factors – method and time of air samples collection)

atmosferycznego w Paryżu, MIQUEL [1983] stwierdził, że różnice liczebności bakterii zależą od wielu czynników, głównie od pory roku, warunków meteorologicznych, opadów atmosferycznych, nasłonecznienia, miejsca przeprowadzania badań oraz wysokości nad powierzchnią terenu. Okresy wahań ogólnej liczebności mikroorganizmów także zależą w dużym stopniu od warunków naziemnych, takich jak dostępność nutrientów, a tym samym od intensywności rozwoju mikroorganizmów w glebie, wodzie, na różnego rodzaju odpadkach, szczątkach roślinnych i zwierzęcych [KRZYSZTOFIK, 1992]. Dlatego też duża liczebność bakterii psychrofilnych oraz promieniowców oznaczonych w próbkach powietrza, pobranych zwłaszcza poza terenem badanej oczyszczalni w sezonie wiosennym, może być spowodowana tym, że są to typowe mikroorganizmy autochtoniczne, pochodzące najprawdopodobniej z pobliskich pól i/lub lasu. W sezonie wiosennym na stanowisku kontrolnym w próbce powietrza pobranej metodą sedymentacyjną wyizolowano największą w całym okresie badawczym liczebność promieniowców. Z badań KALISZ, SAŁBUT i KAŻMIERCZUKA [1994] wynika, że promieniowce są stale obecne w powietrzu atmosferycznym zarówno w środowisku zurbanizowanym, jak i w otoczeniu obiektów gospodarki komunalnej. Potwierdzają to prowadzone badania własne. Na tej podstawie uznano, że promieniowce nie powinny być brane pod uwagę jako mikroorganizmy wskaźnikowe do wyznaczania zasięgu oddziaływania obiektów gospodarki komunalnej na stan sanitarny powietrza atmosferycznego.

Analizy statystyczne uzyskanych wyników wykazały istotne różnice w liczebności poszczególnych grup badanych drobnoustrojów w powietrzu pobieranym różnymi metodami oraz w różnych porach roku. Największą średnią ich liczebność stwierdzano zazwyczaj w próbkach powietrza pobieranego metodą sedymentacyjną oraz pobieranego latem (z wyjątkiem promieniowców, których maksymalną liczebność stwierdzano wiosną), najmniejszą zaś zimą (rys. 2). Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w liczebności badanych grup drobnoustrojów w powietrzu pobieranym na poszczególnych stanowiskach badawczych. Jednakże większą ich liczebność stwierdzano w powietrzu pobieranym na stanowiskach usytuowanych na terenie oczyszczalni ścieków, szczególnie przy dopływie ścieków, osadniku Imhoffa oraz przy filtrach gruntowo-roślinnych z przepływem pionowym (rys. 1).

Uwzględniając kryteria oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego podane w normie PN-89 Z-04111/02 oraz projekcie normy prPN-Z-04111-2, powietrze pobierane zarówno na terenie, jak i w otoczeniu oczyszczalni, poza nielicznymi wyjątkami, sklasyfikowano jako mało zanieczyszczone. Nie stwierdzono podwyższonej emisji badanych grup drobnoustrojów poza obszar terenu oczyszczalni. Sporadyczna obecność bakterii potencjalnie patogennych pochodzenia kałowego z rodzajów *Pantoea* i *Serratia* w powietrzu pobieranym poza terenem oczyszczalni świadczy jednak o potrzebie prowadzenia badań monitoringowych powietrza, co umożliwi dokładne poznanie oddziaływania tego typu obiektu na środowisko i zdrowie człowieka.

## WNIOSKI

1. W świetle obowiązującej polskiej normy PN-89 Z-04111/02 oraz projektu normy prPN-Z-04111-2 można stwierdzić, że powietrze pobrane na terenie i w otoczeniu hydrofi-

towej oczyszczalni ścieków było mało zanieczyszczone, sporadycznie, głównie w sezonach letnim i jesiennym, występowało silne zanieczyszczenie powietrza spowodowane zwiększoną liczebnością bakterii psychrofilnych i psychrotrofowych.

2. Głównym źródłem emisji bioaerozolu na terenie oczyszczalni ścieków są: dopływ ścieków, osadnik Imhoffa oraz I i II FGR z przepływem pionowym.

3. Większą liczebność badanych grup drobnoustrojów stwierdzano zazwyczaj w powietrzu pobieranym metodą sedymentacyjną niż zderzeniową. W większości przypadków różnice te były statystycznie istotne.

4. Stwierdzano statystycznie istotne różnice w liczebności większości oznaczanych grup drobnoustrojów w zależności od pory roku. Największą średnią liczebność tych bakterii stwierdzano zazwyczaj latem (z wyjątkiem promieniowców, których maksymalną liczebność stwierdzano wiosną), najmniejszą zaś zimą.

5. Większa różnorodność gatunkowa i podwyższona liczebność bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, w tym gatunków potencjalnie patogennych, stwierdzona w powietrzu pobieranym przy dopływie ścieków oraz osadniku Imhoffa może wskazywać na bezpośrednie zagrożenie zdrowia pracowników przebywających dłuższy czas w pobliżu tych obiektów.

6. Sporadyczna obecność mikroorganizmów wskaźnikowych w badanych próbkach powietrza pobranych na stanowiskach poza terenem oczyszczalni może świadczyć o znikomym oddziaływaniu oczyszczalni ścieków na otoczenie.

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

## LITERATURA

- BARABASZ W., ALBIŃSKA D., BARABASZ J., 2005. Obiekty komunalne jako źródła bioaerozolu i mikroorganizmów szkodliwych dla zdrowia. Referat Ogólnopolskiej Sesja Popularnonaukowej „Środowisko a zdrowie – 2005. Częstochowa”.
- 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.
- BRIX H., 1999. How ‘green’ are aquaculture, constructed wetlands and conventional wastewater treatment systems? *Water Sci. Tech.* 40 3 s. 45–50.
- 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.
- 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. Sanitarно-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., 2000a. Luftemissionen aus der Klaranlage einer Molkerei. Betriebe der Nahrungsmittelindustrie als die Quelle der Umweltverschmutzung. *Korrespondenz Abwasser. Abfall.* 5 s. 712–721.
- FILIPKOWSKA Z., JANCZUKOWICZ W., KRZEMIENIEWSKI M., PESTA J., 2000b. Microbiological air pollution of the surrounding of waste water treatment plant with activated-sludge aerated by horizontal rotors. *Pol. J. Env. St.* 9 4 s. 273–280.

- FILIPKOWSKA Z., JANCZUKOWICZ W., KRZEMIENIEWSKI M., PESTA J., 2002. 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. St.* 11 6 s. 639–648.
- FRACCHIA L., 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.
- GERSBERG R.M., ELKINS B.V., LYON S.R., GOLDMAN C.R., 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. *Water Res.* 20 3 s. 363–368.
- KALISZ L., SALBUT J., KAŹMIERCZUK M., 1994. Ocena oddziaływania obiektów komunalnych na mikrobiologiczną jakość powietrza oraz rozprzestrzenianie się odorów. *Ochr. Środ. Zasob. Natur.* 9 s. 125–142.
- KALUŻEWSKI S., 2007. Groźne i niegroźne pałeczki *Klebsiella*: <http://www.alergia.org.pl/pacjent/inne/inne.htm>
- KAŹMIERCZUK M., KALISZ L., SALBUT J., 2004. Mikrobiologiczne zanieczyszczenia powietrza w otoczeniu obiektów gospodarki komunalnej. Monografia. Warszawa: IOŚ ss. 67.
- KOTTON-CZARNECKA M., CHRÓST R.J., 2001. Protozoan grazing on bacteria in aquatic ecosystems. *Post. Microbiol.* 40 2 s. 219–240.
- KOWAL N.E., 1982. Health effects of land treatment: microbiological. EPA-600/1-82-007 ss. 25.
- KOWAL N.E., 1985. Health effects of land application of municipal sludge. EPA/1-85/015 ss. 17.
- KRĘGIEL D., DREWICZ B., 2000. Enterokrwotoczne szczepy *Escherichia coli* (EHEC). *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.
- MIQUEL P., 1983. Les organismes vivants de l’atmosphère. *Ann. Obs. Mounsouris Gauthier-Villars, Paris, France* ss. 342.
- OBARSKA-PEMPKOWIAK H., 2002. Oczyszczalnie hydrofitowe. Gdańsk: Wydaw. PGdań. ss. 213.
- 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.
- RANALLI C., PRINCIPI P., SORLINI C., 2000. Bacterial aerosol emission from wastewater treatment plants. Culture methods and bio-molecular tools. *Aerobiol.* 16 1 s. 39–46.
- STANISZ A., 2006. Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. T. 1. Statystyki podstawowe. Kraków: StatSoft Polska ss. 532.
- 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 5 s. 393–403.

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

**BACTERIOLOGICAL POLLUTION OF ATMOSPHERIC AIR  
IN THE CONSTRUCTED WETLAND (WITH REED BED SYSTEM) AREA  
AND IN THE SURROUNDINGS**

*Key words: air pollution, bacteria, constructed wetland*

**S u m m a r y**

The study of atmospheric air was carried out within and in the surrounding of a constructed wetland in Leguty, treating  $60 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  of domestic wastewater, which operates in vertical and horizontal reed bed system with subsurface flow. Counts of heterotrophic psychrophilic, psychrotrophic and mesophilic bacteria as well as some physiological groups of microorganisms which belong to *Enterobacteriaceae* family, *Staphylococcus* and *Enterococcus* genera, *Pseudomonas fluorescens* species, hemolysing bacteria and actinomycetes were analysed. Air samples were collected in summer, autumn, winter and spring seasons simultaneously by the sedimentation and impact methods at 7 sites located in the area of the wastewater treatment plant (sewage inflow, Imhoff tank, I and II vertical flow reed bed, vertical sedimentation tank, horizontal flow reed bed and sludge drying reed bed) and at 4 sites situated in its surroundings. The background was selected depending on wind direction, always on the windward side of the wastewater treatment plant. In addition, temperature, air humidity, wind speed and direction were observed at each sampling site. Statistical analyses of the results showed significant differences in counts of the analysed groups of microorganisms in the air sampled with different methods and in different seasons. The highest mean numbers of microorganisms were typically found in air samples collected by the sedimentation method, especially in summer (with the exception of actinomycetes, which were most numerous in spring), whereas the lowest counts were found in winter. No statistically significant differences were found between counts of the analysed groups of microorganisms in the air sampled at different sites. However, higher counts were usually found in the air sampled at the sites on the premises of the wastewater treatment plant, especially near sewage inflow, Imhoff tank and vertical flow reed bed. According to the Polish Standards for atmospheric air pollution assessment, the air sampled at the plant and in its surroundings, with very few exceptions, was classified as only slightly polluted. In conclusion, no increased emission of the analysed groups of microorganisms, including faecal bacteria, was observed outside the wastewater treatment plant.

---

**Recenzenci:**

*prof. dr hab. Wiesław Barabasz*

*prof. dr hab. Zbigniew Paluszak*

Praca wpłynęła do Redakcji 19.09.2007 r.