

# PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

# RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

Nr 411

## Wybrane zagadnienia z bioekonomii

Redaktor naukowy  
Małgorzata Krzywonos



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu  
Wrocław 2015

Redakcja wydawnicza: Anna Grzybowska  
Redakcja techniczna i korekta: Barbara Łopusiewicz  
Łamanie: Agata Wiszniowska  
Projekt okładki: Beata Dębska

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania  
znajdują się na stronie internetowej Wydawnictwa  
[www.pracnaukowe.ue.wroc.pl](http://www.pracnaukowe.ue.wroc.pl)  
[www.wydawnictwo.ue.wroc.pl](http://www.wydawnictwo.ue.wroc.pl)

Publikacja udostępniona na licencji Creative Commons  
Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 3.0 Polska  
(CC BY-NC-ND 3.0 PL)



© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu  
Wrocław 2015

**ISSN 1899-3192**  
**e-ISSN 2392-0041**

**ISBN 978-83-7695-567-4**

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Zamówienia na opublikowane prace należy składać na adres:  
Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu  
ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław  
tel./fax 71 36 80 602; e-mail: [econbook@ue.wroc.pl](mailto:econbook@ue.wroc.pl)  
[www.ksiegarnia.ue.wroc.pl](http://www.ksiegarnia.ue.wroc.pl)

Druk i oprawa: TOTEM

## Spis treści

<b>Wstęp</b> .....	7
<b>Jolanta Błaszczyk, Małgorzata Krzywonos:</b> Analiza właściwości moszczów winnych i win na przykładzie winnicy z Dolnego Śląska (Analysis of properties grape musts and wines on the example of vineyard from Dolny Śląsk) .....	9
<b>Barbara Breza-Boruta, Judyta Gwardzik:</b> Analiza mikrobiologiczna powietrza na terenie i w otoczeniu kompostowni (Microbiological analysis of the air in the composting facilities and its surroundings).....	19
<b>Mateusz Grabowski, Paweł Ramos, Barbara Pilawa:</b> Analiza oddziaływań resweratrolu, kwasów tłuszczowych oraz witamin rozpuszczalnych w tłuszczach z paramagnetycznym DPPH z wykorzystaniem spektroskopii EPR (Analysis of interactions of resveratrol, fatty acid, and vitamins soluble in fatty acid with paramagnetic DPPH by the use of EPR spectroscopy) .....	29
<b>Jan Jagodziński, Sylwia Dziągów, Małgorzata Krzywonos:</b> Wpływ substancji słodzących na cechy organoleptyczne cydru domowego (Influence of sweeteners on sensory properties of homemade cider).....	38
<b>Sylwia Jarco, Barbara Pilawa, Paweł Ramos:</b> Oddziaływanie rosuwastatyny poddanej działaniu czynnika termicznego z wolnymi rodnikami – zastosowanie spektroskopii EPR (Interactions of rosuvastatin effected by thermal factor with free radicals – applications of EPR spectroscopy).....	48
<b>Benita Kostrzewa, Arleta Staszuk, Ryszard Tadeusiewicz, Ewa Karuga-Kuźniewska, Zbigniew Rybak:</b> Nanotechnologia w biomedycynie (Nanotechnology in biomedicine) .....	59
<b>Monika Kucharczyk, Małgorzata Krzywonos, Marta Wilk, Przemysław Seruga, Daniel Borowiak:</b> Etnocentryzm konsumencki a produkty regionalne (Consumer ethnocentrism and regional products).....	87
<b>Magdalena Malinowska, Elżbieta Sikora, Jan Ogonowski:</b> Lipophilicity of lupeol semisynthetic derivatives (Lipofilowość półsyntetycznych pochodnych lupeolu) .....	97
<b>Karolina Matej-Lukowicz, Ewa Wojciechowska:</b> Opłaty za odprowadzanie wód deszczowych (Fees for the discharge of stormwater).....	104
<b>Tomasz Podeszwa, Weronika Rutkowska:</b> Wpływ warunków słodowania ziarna gryki na zawartość ekstraktu, barwę oraz lepkość brzeczek laboratoryjnych (kongresowych) (The impact of buckwheat seed germination conditions on the content of extract, colour and viscosity in congress mash).....	115

---

<b>Weronika Rutkowska, Tomasz Podeszwa:</b> Wpływ dodatku słodcu gryczanego na właściwości przeciwutleniające brzeczek przednich (The influence of the addition of buckwheat malt to barley malt on antioxidant properties of sweet worts).....	124
<b>Ewa Walaszczyk, Waldemar Podgórski, Elżbieta Gąsiorek:</b> Dobór szczepu <i>Aspergillus niger</i> w procesie biosyntezy kwasu szczawiowego z sacharozy ( <i>Aspergillus niger</i> strain selection for oxalic acid biosynthesis from sucrose).....	133
<b>Marta Wilk, Małgorzata Krzywonos, Przemysław Seruga, Monika Kucharczyk, Daniel Borowiak:</b> Karmel w żywności (Caramel in food)	140

## Wstęp

Mamy zaszczyt przedstawić Państwu publikację, która jest efektem II Ogólnopolskiej Konferencji Młodych Naukowców Nauk Przyrodniczych „Wkraczając w świat nauki 2015”, która się odbyła w dniach 10-11 września 2015 r. na Wydziale Inżynierjno-Ekonomicznym Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Organizatorem konferencji jest Katedra Inżynierii Bioprocessowej, aktywnie wspierana przez afiliowane przy niej Koło Naukowe Młodych Inżynierów, oraz Akademickie Centrum Badań i Rozwoju BioR&D.

Gościliśmy ponad 100 przedstawicieli z 30 jednostek naukowych z całego kraju. Wysłuchaliśmy ponad 60 referatów oraz zobaczyliśmy 80 posterów. Duże zainteresowanie konferencją świadczy o tym, jak bardzo takie inicjatywy są potrzebne w gronie młodych adeptów nauki. Mamy to szczęście, że młodzi pracownicy nauki zechcieli się podzielić z nami swoimi pasjami naukowymi. Wierzymy, że takie inicjatywy są potrzebne, a świadczyć może o tym liczba uczestników. Ufamy, że nasze spotkanie było doskonałą płaszczyzną do wymiany poglądów na temat zagadnień dotyczących bioekonomii, związanych z badaniami podejmowanymi przez studentów i doktorantów. Mamy nadzieję, że w ten sposób zachęcimy młodych pracowników nauki do podejmowania wyzwań i rozwijania pasji naukowych i że nawiązane znajomości zaprocentują w przyszłości współpracą naukową między młodymi pracownikami, a co za tym idzie, między uczelniami i ośrodkami akademickimi. Zależy nam na tym, żeby studenci jak najwcześniej wchodzili w świat nauki, a uczestnictwo w konferencji i możliwość publikacji były ich pierwszym krokiem i doskonałą okazją, by zaistnieć w świecie naukowym.

Efektym finalnym konferencji jest niniejsza publikacja zawierająca zbiór interesujących, a zarazem różnorodnych artykułów naukowych poruszających rozmaite zagadnienia i problemy z obszaru nauk przyrodniczych i bioekonomii.

Składamy podziękowania wszystkim, którzy przyczynili się do powstania niniejszej publikacji. Uczestnikom konferencji i autorom publikacji życzymy wielu sukcesów naukowych.

W imieniu Komitetu Organizacyjnego  
*Małgorzata Krzywonos*

**Barbara Breza-Boruta, Judyta Gwardzik**

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy  
e-mail: breza@utp.edu.pl

---

## **ANALIZA MIKROBIOLOGICZNA POWIETRZA NA TERENIE I W OTOCZENIU KOMPOSTOWNI**

## **MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF THE AIR IN THE COMPOSTING FACILITIES AND ITS SURROUNDINGS**

---

DOI: 10.15611/pn.2015.411.02

JEL Classification: Q53

**Streszczenie:** Celem pracy było określenie poziomu stężenia i składu mikrobiologicznego bioaerozolu wokół kompostowni oraz ocena jego szkodliwego działania na otoczenie. Próbkę powietrza do analiz mikrobiologicznych pobierano metodą zderzeniową za pomocą impaktora typu MAS – 100 Eco. Najwyższe stężenie bakterii ogółem i promieniowców w powietrzu zanotowano w punkcie odległym 200 m od kompostowni. Nie stwierdzono rozprzestrzenienia *E. coli* i *Salmonella* spp. w powietrzu na teren poza zakładem. Wśród aerozolu bakteryjnego największy procentowy udział stanowiły ziarniaki Gram-dodatnie, a następnie pałeczki Gram-dodatnie i Gram-ujemne. Analizy mykologiczne potwierdziły obecność w badanym powietrzu grzybów o właściwościach potencjalnie alergizujących i mykotoksynotwórczych z rodzaju: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Alternaria*. Mimo że poziom stężenia mikroorganizmów w powietrzu wokół monitorowanego obiektu nie był wysoki, może jednak stanowić zagrożenie dla środowiska oraz zdrowia okolicznych mieszkańców.

**Słowa kluczowe:** bioaerozol, kompostownia, zanieczyszczenie powietrza, drobnoustroje.

**Summary:** The aim of this study was to estimate the concentration level and microbiological composition of bioaerosol around composting facilities and evaluation of its harmful effect on the environment. The influence of composting facilities on microbial contamination in the air has been found in the distance of 550 m. Air samples for microbiological analyses were collected with the compaction method using the Merck MAS – 100 EcoTM type impactor. The highest concentration of total count of bacteria and actinomycetes in the air was noticed in the distance of 200 m from composting facilities. It was no expansion of *E. coli bacilli* and *Salmonella* spp. in the air of surroundings of the facilities. The highest percentage of bacterial aerosol comprised Gram-positive cocci, and then G+ and G-bacilli. Concentration of mould fungi reached up to 2080 cfu-m<sup>-3</sup>, which indicated unpolluted air at all stands tested. Mycological analyses confirmed the presence in the studied air of fungi with potentially allergic and mycotoxinogenic properties from the general: *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Alternaria*. Although the level of microorganism concentration in the air around the monitored facilities was not high, may pose a threat to the environment and health of the local residents.

**Keywords:** bioaerosol, composting facilities, air pollution, microorganisms.

## 1. Wstęp

Drobnoustroje emitowane do powietrza występują w postaci bioaerozolu i w istotny sposób wpływają na stopień jego zanieczyszczenia. Źródła zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza mogą być pochodzenia naturalnego (gleba, woda, rozkład materii organicznej, rośliny) i antropogenicznego. Poważnym źródłem emisji dużej ilości niebezpiecznego bioareozolu są obiekty przetwarzania odpadów komunalnych, takie jak: składowiska odpadów, kompostownie, sortownie, spalarnie odpadów oraz oczyszczalnie ścieków [Mansour i in. 2012; Chmiel i in. 2015]. Poziom koncentracji mikroorganizmów oraz ich skład gatunkowy występujący w aerozolu zależą głównie od składu i ilości odpadów, sposobu ich przetwarzania i składowania, sposobu eksploatacji obiektu, rodzaju urządzeń stosowanych w obiektach oraz intensywności wykonywanych prac (rozładunek odpadów i przewracanie pryzm) [Kołwzan i in. 2012; Wéry 2014].

Należy podkreślić bogactwo i dużą zmienność mikroflory bakteryjnej w kompostowniach odpadów. Zmiana składu jakościowego populacji mikroorganizmów w głównej mierze zależy od temperatury zachodzących procesów, jak również od ciągle zmieniającej się materii organicznej poddawanej kompostowaniu [Hassen i in. 2001; Cyprowski 2011]. Kompostowanie odpadów, nawet zaplanowane i zarządzane w odpowiedni sposób, zawsze wiąże się z potencjalnym ryzykiem środowiskowym, a także, jak wskazują wyniki badań epidemiologicznych, również z potencjalnym ryzykiem zdrowotnym, które ponoszą pracownicy oraz populacje zamieszkałe w bezpośrednim sąsiedztwie instalacji. W uwalnianym z kompostowni bioaerozolu mogą występować aktywne czynniki chorobotwórcze (bakterie, wirusy, zarodniki grzybów oraz fragmenty grzybni), a także endo- i mykotoksyny, które wraz z powietrzem przenoszone są na duże odległości [Pankhurst i in. 2011; Skóra, Gutarowska 2014]. U osób przewlekle narażonych bioaerozole mogą przyczynić się do wystąpienia schorzeń o charakterze zapalnym i infekcyjnym oraz alergicznym [Schlosser i in. 2009; Lar, Złotkowska 2013]. Zagrożenie stwarzają nie tylko obecne w powietrzu drobnoustroje chorobotwórcze czy toksyny pochodzenia mikrobiologicznego, lecz także nadmierna liczba drobnoustrojów saprofitycznych, szczególnie jeśli ich skład jest mało zróżnicowany i dominują organizmy jednego gatunku [Kummer, Thiel 2008; Chmiel i in. 2015].

Część mikroorganizmów zawartych w aerozolu obumiera, nie stanowiąc zagrożenia. Jak wskazują dane literaturowe, szczególną uwagę należy zwrócić na drobnoustroje wytwarzające formy przetrwalnikowe, które przeżywają przez długi czas, zarówno w powietrzu, jak i środowisku, na które opadają po wytrąceniu z bioaerozolu [Karadag i in. 2013]. Takie organizmy mogą stanowić potencjalne zagrożenie nawet przez wiele lat, zwłaszcza że część form wytwarzających przetrwalniki jest chorobotwórcza. Najdłużej w powietrzu mogą występować endospory, bakterie wytwarzające różnego rodzaju otoczki, zarodniki grzybów i promieniowców oraz niektóre formy wirusów. Mikroorganizmy zdolne do tworzenia agregatów przeżywają dłużej

od pojedynczych komórek ze względu na ochronne działanie zewnętrznej warstwy komórek [Schlosser i in. 2009; Wéry 2014].

Powietrze stanowi drogę przenoszenia zanieczyszczeń mikrobiologicznych, dlatego należy monitorować i ograniczać źródła ich powstawania. Oszacowanie stężenia bioaerozoli jest jednak bardzo trudne z powodu dużej liczby parametrów mających bezpośredni lub pośredni wpływ na liczebność aeromikroflory. Wśród czynników wpływających na skład mikroflory powietrza należy wymienić: wielkość emisji drobnoustrojów, odległość od źródła emisji, przeżywalność drobnoustrojów, warunki meteorologiczne (temperatura, siła wiatru, wilgotność, opady atmosferyczne, promieniowanie UV) [Breza-Boruta 2012; Chmiel i in. 2015].

Analiza składu mikrobiologicznego powietrza na terenie zakładów przetwarzania odpadów i rozpoznanie strefy oddziaływania wokół nich mają niezwykle istotne znaczenie dla oceny potencjalnego narażenia zdrowia pracowników i okolicznych mieszkańców oraz ochrony środowiska.

Celem pracy było określenie składu mikrobiologicznego bioaerozolu na terenie kompostowni i w jej otoczeniu oraz ocena jego szkodliwego działania na środowisko.

## 2. Metodyka badań

Oceny mikrobiologicznej powietrza dokonano na terenie i w otoczeniu kompostowni w województwie mazowieckim. Zakład zajmuje się przetwarzaniem i odzyskiwaniem odpadów biodegradowalnych w instalacji z wykorzystaniem procesów fermentacji. Próbki powietrza atmosferycznego pobierano na terenie kompostowni po zakończonym procesie kompostowania – przy usypanych przyzmacach kompostu (pkt 1) oraz w czterech punktach poza jej granicami, tj.: przy ogrodzeniu zakładu (pkt 2), w odległości 100 m w kierunku północno-zachodnim od zakładu – najbliższa zabudowa mieszkalna (pkt 3), w odległości 200 m w kierunku południowo-wschodnim od zakładu na polu uprawnym (pkt 4), w odległości ok. 550 m w ogródku warzywnym na terenie gospodarstwa rolnego (pkt 5). Punkt kontrolny (pkt 6) wyznaczono z dala od zabudowań, na otwartej przestrzeni, w odległości ok. 500 m w kierunku zachodnim od kompostowni (po stronie nawietrznej). Poboru próbek powietrza dokonano metodą zderzeniową z zastosowaniem impaktora typu MAS – 100 Eco<sup>TM</sup> firmy Merck. Analizy składu bioaerozolu wykonano w okresie letnim 2014 r. w trzech powtórzeniach.

Badania mikrobiologiczne obejmowały następujące oznaczenia: ogólną liczbę bakterii na agarze tryptozowo-sojowym – TSA, firmy Merck (inkubacja w temp. 36°C przez 24-48 godzin), ogólną liczbę grzybów pleśniowych na agarze brzezkowym – Merck (inkubacja w 26°C przez 72-120 godzin), liczebność promieniowców na podłożu Pochona (inkubacja w 26°C przez 10 dni), pałeczki *Escherichia coli* i inne bakterie z grupy coli na agarze Endo (inkubacja w 37°C przez 24 godziny), bakterie z rodzaju *Salmonella* na podłożu BPL Agar – Merck (inkubacja w 37°C przez 24 godziny). Identyfikację drobnoustrojów wykonano na podstawie analiz makro- i mikroskopowych oraz testów biochemicznych (barwienie Grama). Do potwierdzenia



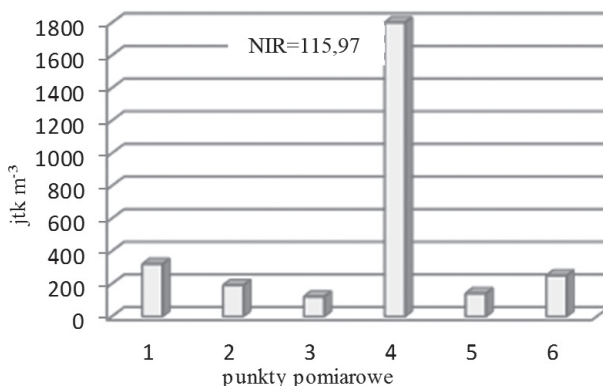
przynależności bakterii do rodzaju *Salmonella* wykorzystano surowicę poliwalentną Hm do aglutynacji szkiełkowej. W badaniach ilościowych po okresie inkubacji zliczono kolonie drobnoustrojów wyrosnięte na podłożach i przeliczano na liczbę jednostki tworzące kolonie w 1 m<sup>3</sup> powietrza (jtk m<sup>-3</sup>).

Analizę statystyczną wyników wykonano w programie Statistica 10 (firmy StatSoft Polska), a do określenia istotności różnic pomiędzy średnimi posłużono się testem Tukeya na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

### 3. Wyniki i dyskusja

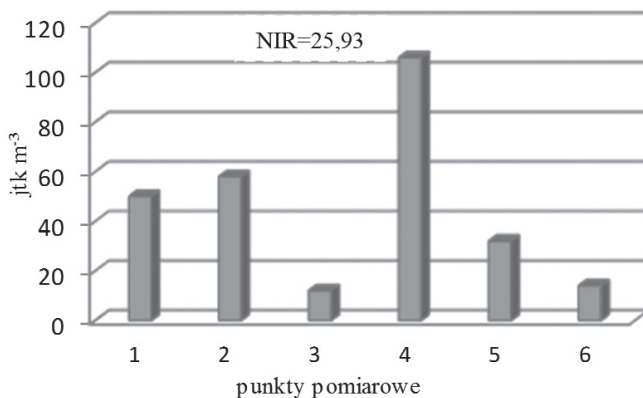
Wyniki analizy składu mikrobiologicznego powietrza na terenie kompostowni oraz w punktach położonych w różnych odległościach i kierunkach od instalacji przedstawiono na rys. 1-4 i w tab. 1. Stężenie bakterii ogółem w powietrzu zarówno na terenie kompostowni, jak i w jej otoczeniu nie było wysokie oraz nie przekraczało wartości wskazujących na silne zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego. Najwyższą statystycznie istotną ( $\alpha = 0,05$ ) liczebność bakterii (1800 jtk m<sup>-3</sup>) zanotowano w punkcie odległym o 200 m w kierunku południowo-wschodnim od kompostowni (pkt 4), w porównaniu z pozostałymi stanowiskami badawczymi (rys. 1). W badaniach przeprowadzonych przez Roodbari i in. [2013] średnie stężenie bakterii wokół obiektów przetwarzających odpady wahało się w zakresie od 1520 wiosną do 1782 jtk m<sup>-3</sup> latem. Z kolei Schlosser i in. [2009] analizowali emisję bioaerozolu na różnych etapach procesu technologicznego w kompostowniach. Autorzy wykazali, że średnie najwyższe stężenia bakterii występowały podczas przesiewania kompostu ( $2,7 \cdot 10^7$  jtk m<sup>-3</sup>) i przerzucania pryzm ( $1 \cdot 10^7$  jtk m<sup>-3</sup>). Natomiast w czasie statycznego dojrzewania kompostu w pryzmach uzyskali stężenie na poziomie  $3,3 \cdot 10^6$  jtk m<sup>-3</sup>. Należy dodać, że próbki powietrza do prezentowanych badań pobierano po zakończonym procesie kompostowania, przy usypanych pryzmach kompostu i minimalnej eksploatacji urządzeń.

Stężenie promieniowców w badanym bioaerozolu wahało się od 12 do 106 jtk m<sup>-3</sup> (rys. 2). Najwięcej ich wyizolowano również w próbkach powietrza pobranego w odległości 200 m od kompostowni. Natomiast najmniejsze zanieczyszczenie stwierdzono w punkcie położonym 100 m w kierunku północno-zachodnim od zakładu i punkcie kontrolnym, wynoszące odpowiednio 12 i 14 jtk m<sup>-3</sup>. Analiza statystyczna potwierdziła istotne różnice między uzyskanymi wartościami promieniowców na poszczególnych stanowiskach pomiarowych. Badania składu aerozolu wokół kompostowni przeprowadzone przez Paściak i in. [2014] wskazują również na wysoką koncentrację promieniowców w bioaerozolu. Emisja dużej ilości *Actinomycetes* przez kompostownię związana jest z warunkami panującymi w trakcie procesu produkcyjnego. Powszechnie przyjmuje się, że wysoka wilgotność i temperatura oraz dostęp do bogatej materii organicznej w kompoście stwarzają doskonałe warunki do proliferacji dla mikroorganizmów, które następnie z łatwością mogą być przenoszone przez prądy konwekcyjne [Taha i in. 2007; Wéry 2014].



**Rys. 1.** Stężenie aerozolu bakteryjnego na terenie kompostowni i w jej otoczeniu (punkty pomiarowe: 1 – przy przyzmach kompostu, 2 – przy ogrodzeniu zakładu, 3 – 100 m od kompostowni, 4 – 200 m od kompostowni, 5 – 550 m od zakładu, 6 – pkt kontrolny; NIR<sub>T, α=0,05</sub> dla pkt. pomiarowych)

Źródło: badania własne.

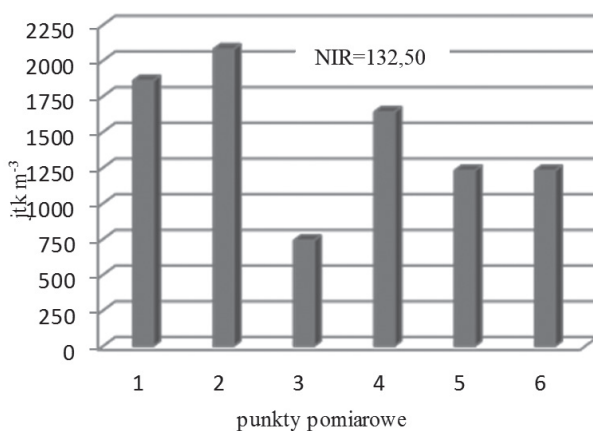


**Rys. 2.** Stężenie promieniowców w powietrzu na terenie i w otoczeniu kompostowni (objaśnienia jak na rys. 1; NIR<sub>T, α=0,05</sub> dla pkt. pomiarowych)

Źródło: badania własne.

Stężenie grzybów pleśniowych w powietrzu kształtowało się na poziomie 740-2080 jtk m<sup>-3</sup> (rys. 3). Uzyskane wartości świadczą, że nie doszło do zanieczyszczenia powietrza przez grzyby na wszystkich stanowiskach pomiarowych. Najwyższą koncentrację zarodników w powietrzu odnotowano na terenie i przy ogrodzeniu kompostowni (pkt 1 i 2). Istotnie najmniejsze ich stężenie stwierdzono w punkcie 3, a następnie 5 i 6. Jak donoszą Roodbari i in. [2013], stężenie grzybów wokół monitorowanych przez nich obiektów komunalnych wyniosło od 473 do 512 jtk m<sup>-3</sup>. Poza

określeniem poziomu stężenia mikroorganizmów w powietrzu istotne jest poznanie ich składu jakościowego. Wśród wyizolowanych grzybów z powietrza na terenie kompostowni i w jej sąsiedztwie dominowały pleśnie z rodzaju: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Fusarium*, *Sclerotinia*. W badaniach przeprowadzonych przez Sánchez-Monedero i in. [2005] również najwięcej przedstawicieli z rodzaju *Cladosporium* oznaczono w bioaerozolu. Podobny skład gatunkowy grzybów w bioaerozolu określili Gotkowska-Płachta i in. [2013]. Wykazali obecność m.in. grzybów z rodzaju *Alternaria*, *Actinomucor*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Chrysosporium*, *Mucor*, *Geotrichum*, a jednym z najczęściej występujących był *Penicillium* spp. Na podstawie badań własnych i innych autorów [Breza-Boruta 2012; Mansour i in. 2012; Pankhurst i in. 2011] można stwierdzić, że skład aerozolu grzybowego w otoczeniu różnych obiektów gospodarki komunalnej jest bardzo zbliżony, co zarazem świadczy, że w tego typu zakładach dochodzi do emisji bioaerozolu podobnego pod względem jakościowym.



**Rys. 3.** Stężenie grzybów pleśniowych w powietrzu na terenie kompostowni i w jej otoczeniu (objaśnienia jak na rys. 1;  $NIR_{T, \alpha=0,05}$  dla pkt. pomiarowych)

Źródło: badania własne.

Wśród oznaczonych bakterii sporadycznie występowały potencjalnie chorobotwórcze bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae* (tab. 1). W badanym powietrzu zarówno na terenie kompostowni, jak i w jej sąsiedztwie nie stwierdzono obecności pałeczek *Escherichia coli*, natomiast inne bakterie z grupy coli były obecne we wszystkich punktach pomiarowych, a ich liczebność nie przekroczyła 10 jtk m<sup>-3</sup>. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała brak istotnych różnic w ich liczebności na monitorowanych stanowiskach. Bakterie *Salmonella* spp. wykryto jednorazowo tylko przy ogrodzeniu zakładu (pkt 2), w ilości 2,0 jtk m<sup>-3</sup>. Podobne wyniki uzyskali Kaźmierczuk i Bojanowicz-Bablok [2014]; w ich badaniach stężenie bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* wyniosło 8-16 jtk m<sup>-3</sup>.

**Tabela 1.** Występowanie potencjalnie patogennych bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* w powietrzu na terenie i w otoczeniu kompostowni (NIR<sub>T, α=0,05</sub> dla pkt. pomiarowych – nieistotne statystycznie)

Stanowisko pomiarowe	Koncentracja [jtk m <sup>-3</sup> ]		
	<i>E. coli</i>	Bakterie grupy coli	<i>Salmonella</i> spp.
1*	n.s.**	6,0	n.s.
2	n.s.	6,0	2,0
3	n.s.	4,0	n.s.
4	n.s.	10,0	n.s.
5	n.s.	6,0	n.s.
6	n.s.	4,0	n.s.

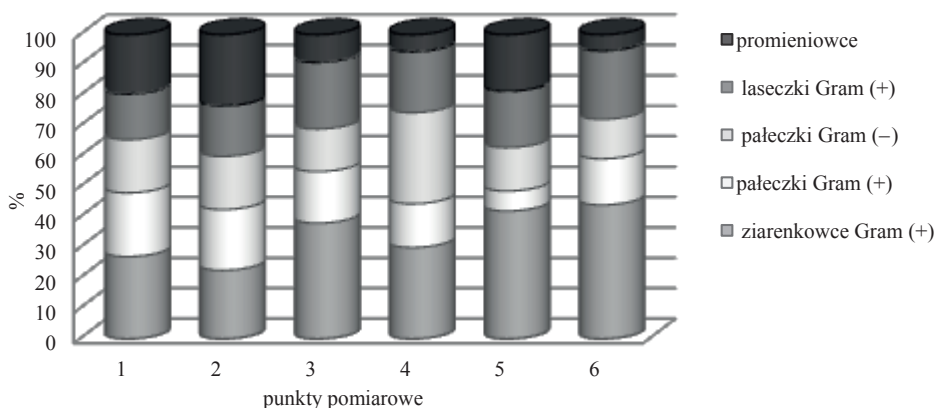
\* objaśnienia jak na rys. 1.

\*\*n.s. – nie stwierdzono

Źródło: badania własne.

Z kolei Gotkowska-Płachta i in. [2013] w bioaerozolu emitowanym przez obiekty przetwarzania odpadów różnego pochodzenia odnotowali stężenie mikroorganizmów na poziomie od 0 do  $2,3 \cdot 10^3$  jtk m<sup>-3</sup>, a wśród zidentyfikowanych bakterii wykryto przedstawicieli pałeczek jelitowych *Enterobacter sakazakii*, *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Serrata* spp. Liczne gatunki z rodziny *Enterobacteriaceae* należą do bezwzględnych lub oportunistycznych patogenów, a także komensali, których obecność uznawana jest za wskaźnik obniżonego stanu higienicznego środowiska [Frączek, Ropek 2011; Kaźmierczuk, Bojanowicz-Bablok 2014]. Prezentowane wyniki wskazują, że monitorowana kompostownia nie była emitorem pałeczek *E. coli* i *Salmonella* spp.

Na rysunku 4 zaprezentowano udział procentowy poszczególnych grup bakterii w powietrzu na wyznaczonych stanowiskach badawczych. Wśród oznaczonego aerozolu bakteryjnego największy procentowy udział stanowiły ziarenkowce Gram-dodatnie, których dominacja wzrastała wraz z odległością od kompostowni. Także najwyższy procent laseczek Gram-dodatnich stwierdzono w punktach poza zakładem. Z kolei największy udział pałeczek Gram-dodatnich oraz promieniowców w stosunku do ogółu bakterii stwierdzono przy przyzmacz kompostu (pkt 1) i przy ogrodzeniu zakładu (pkt 2). Zauważalna jest także ich obecność w powietrzu na terenie i w otoczeniu kompostowni bakterii Gram-ujemnych. Są one źródłem aktywnych immunologicznie endotoksyn, stanowiących zagrożenie dla zdrowia pracowników zakładów przetwarzania odpadów, jak i mieszkańców w zasięgu ich oddziaływania [Schlosser i in. 2009; Skóra, Gutarowska 2014]. Należy też dodać, że bakterie Gram-ujemne powszechnie występują w środowisku przyrodniczym (w glebie, wodzie, na roślinach czy w kurzu ulicznym) i ich obecność w powietrzu pochodzi nie tylko z emisji z odpadów [Kummer, Thiel 2008; Frączek, Ropek 2011].



**Rys. 4.** Udział (%) wyizolowanych bakterii w bioaerozolu w poszczególnych punktach pomiarowych

Źródło: badania własne.

Przeprowadzone badania pozwoliły także na określenie strefy oddziaływania obiektu na otoczenie. Najwyższy poziom zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza występował w odległości 200 m od kompostowni. Na uwagę zasługuje odnotowane w tym punkcie silne zanieczyszczenie powietrza przez promieniowce. Jednakże w punkcie odległym o 550 m od kompostowni oznaczono już zdecydowanie mniej bakterii, promieniowców i grzybów niż na terenie kompostowni. Le Goff i in. [2012], badając rozproszenie bioaerozolu emitowanego przez kompostownię na tereny przyległe, zaobserwowali, że stężenie wskaźników mikrobiologicznych zmieniało się wraz z odległością od kompostowni. W odległości mniejszej niż 200 m bioaerozol zawierał większość mikroorganizmów, które występowały także na terenie kompostowni, potem ich stężenie sukcesywnie malało wraz z odległością. Także w badaniach Taha i in. [2005] zmniejszenie koncentracji mikroorganizmów w porównaniu do miejsc kontrolnych występowało zwykle między 250 a 500 m od źródła emisji bioaerozoli. Z tego powodu także wskazane jest, aby uprawy roślin były lokalizowane w pewnej odległości od kompostowni lub odgradzane nasadzeniami drzew czy innymi przeszkodami. Sánchez-Monedero i in. [2005] podają jako minimalną odległość pól roślin uprawnych około 250 m od kompostowni. Według Taha i in. [2005] stężenie bioaerozolu zmniejsza się dynamicznie wraz z odległością od ich źródła emisji i trudno jest zweryfikować, czy poziom bioaerozolu jest skutkiem oddziaływania zakładu na okolicę, czy też innych źródeł niż kompostownia.

Istotnym parametrem wpływającym na rozprzestrzenianie się bioaerozolu i utrzymanie żywotności drobnoustrojów obecnych w powietrzu są warunki klimatyczne. W czasie wykonywania pomiarów średnia temperatura powietrza wynosiła +18°C i wilgotność względna 65% oraz wiał wiatr północno-zachodni o sile 24 km/h, a zatem były to warunki sprzyjające utrzymywaniu się wysokiego poziomu bioaerozolu. Uzyskane wyniki wskazują, iż przy tym kierunku wiatru drobnoustroje mogły być

przenoszone z kompostowni na sąsiadujące tereny w kierunku południowo-wschodnim, gdzie wyznaczone były punkty 4 i 5. Natomiast w pkt. 3 położnym zaledwie 100 m od kompostowni, ale w kierunku przeciwnym do kierunku wiejącego wiatru, stwierdzono najniższe stężenie bioaerozolu i zarazem zbliżone do wartości oznaczonych w punkcie kontrolnym. Wiatr, unosząc cząsteczki w powietrze, może zwiększyć koncentrację aerozolu, jednakże rozprzestrzeniając go w różnych kierunkach, może spowodować obniżenie jego stężenia w powietrzu [Pankhurst i in. 2011].

#### 4. Podsumowanie

Podstawową strategią prawidłowo funkcjonującej kompostowni powinna być emisja możliwie najmniejszej ilości bioaerozolu, minimalizacja zanieczyszczenia przestrzennego oraz ograniczona strefa jego rozprzestrzeniania. Uzyskane wyniki badań wskazują na niski poziom stężenia większości badanych grup drobnoustrojów w powietrzu na terenie i w otoczeniu kompostowni. Jedynie w punkcie położonym na linii wiatru w odległości 200 m od zakładu stwierdzono wyższą koncentrację bakterii i promieniowców, co świadczy o rozprzestrzenianiu się bioaerozolu zgodnie z kierunkiem wiatru. W badanym powietrzu na terenach sąsiadujących z zakładem nie stwierdzono obecności bakterii z rodzaju *Salmonella* oraz pałeczek *Escherichia coli*, natomiast wykryto grzyby o właściwościach potencjalnie alergizujących i mykotoksynotwórczych. Badając wpływ bioaerozoli na środowisko przyrodnicze i zagrożenie zdrowia ludzi, warto zwrócić uwagę na sposób rozprzestrzeniania się aerozoli. Bieżące informacje dotyczące kierunku i siły wiatru oraz punktu uwolnienia aerozolu są pomocne w określeniu kierunku rozprzestrzeniania się bioaerozoli z obiektów komunalnych na obszary przyległe.

#### Literatura

- Breza-Boruta B., 2012, *Bioaerosols of the municipal waste landfill site as a source of microbiological air pollution and health hazard*, Ecological Chemistry Engineering A, 19(8), s. 851-862.
- Chmiel M.J., Frączek K., Grzyb J., 2015, *Problemy monitoringu zanieczyszczeń mikrobiologicznych powietrza*, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t. 15, z. 1(49), s. 17-27.
- Cyprowski M., 2011, *Narażenie na aerozol bakteryjny*, Przegląd Komunalny, 8, s. 34-36.
- Frączek K., Ropek D., 2011, *Municipal waste dumps as the microbiological threat to the natural environment*, Ecological Chemistry Engineering S, 18(1), s. 93-110.
- Gotkowska-Płachta A., Filipkowska Z., Korzeniewska E., Janczukowicz W., Dixon B., Golaś I., Szwałgin D., 2013, *Airborne microorganisms emitted from wastewater treatment plant treating domestic wastewater and meat processing industry wastes*, Clean Soil Air Water, 41(5), s. 429-436.
- Hassen A., Belguith K., Jedidi N., Cherif A., Cherif M., Boudabous A., 2001, *Microbial characterization during composting of municipal solid waste*, Bioresource Technology, 80, s. 217-225.
- Karadag D., Özkaya B., Ölmez E., Nissilä M.E., Çakmakçı M., Yıldız S., Puhakka J.A., 2013, *Profiling of bacterial community in a full-scale aerobic composting plant*, International Biodeterioration & Biodegradation, 77, s. 85-90.

- Każmierczuk M., Bojanowicz-Bablok A., 2014, *Bioaerosol concentration in the air surrounding municipal solid waste landfill*, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, vol. 25, no. 2(60), s. 17-25.
- Kołwzan B., Jadczyk P., Pasternak G., Głuszczyk J., Pawlik M., Krawczyńska M., Klein J., Rybak J., 2012, *Ocena stanu sanitarnego powietrza w otoczeniu wybranej oczyszczalni ścieków*, *Ochrona Środowiska*, vol. 34, nr 2, s. 9-14.
- Kummer V., Thiel W.R., 2008, *Bioaerosols – Sources and control measures*, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 211, s. 299-307.
- Lar K., Złotkowska R., 2013, *Skutki zdrowotne zamieszkiwania w sąsiedztwie składowisk odpadów*, *Medycyna Środowiskowa*, vol. 16, nr 4, s. 71-78.
- Le Goff O., Godon J.J., Milferstedt K., Bacheley H., Steyer J., Wéry N., 2012, *A new combination of microbial indicators for monitoring composting bioaerosols*, *Atmospheric Environment*, 61, s. 428-433.
- Mansour F.A., El-Dohlob S.M., Abdel Hameed A.A., Kamel M.M., El-Gendy S.A., 2012, *Microorganisms in the air over a bio-solid waste landfill in Egypt*, *Journal of American Science*, 8(4), s. 573-579.
- Pankhurst L.J., Deacon L.J., Liu J., Drew G.H., Hayes E.T., Jackson S., Longhurst P.J., Longhurst J.W., Pollard S.J., Tyrrel S.F., 2011, *Spatial variations in airborne microorganism and endotoxin concentrations at green waste composting facilities*, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214, s. 376-383.
- Paściak M., Pawlik K., Gamian A., Szponar B., Skóra J., Gutarowska B., 2014, *An airborne actinobacteria *Nocardia* isolated from bioaerosol of a mushroom compost facility*, *Aerobiologia*, 30, s. 413-422.
- Roodbari A., Naddafi K., Javid A., 2013, *Measurements of bioaerosols in the air around the facilities of waste collection and disposal*, *Environment Protection Engineering*, 39(4), s. 105-112.
- Sánchez-Monedero M.A., Stentiford E.I., Urpilainen S.T., 2005, *Bioaerosol generation at large-scale green waste composting plants*, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55, s. 612-618.
- Schlosser O., Huyard A., Cartnick K., Yanez A., Catalan V., Do Quang Z., 2009, *Bioaerosol in composting facilities: Occupational health risk assessment*, *Water Environment Research*, 81(9), s. 866-877.
- Skóra J., Gutarowska B., 2014, *Analiza wybranych czynników wirulencji bakterii i drożdży izolowanych ze środowisk pracy w kompostowniach, garbarniach, muzeach*, *Medycyna Środowiskowa*, vol. 17, nr 3, s. 52-61.
- Taha M.P., Drew G.H., Tamer A., Hewing G., Jordinson G., Longhurst R., Pollard S., 2007, *Improving bioaerosol exposure assessments of composting facilities – Comparative modelling of emissions from different compost ages and processing activities*, *Atmospheric Environment*, 41(21), s. 4504-4519.
- Taha M.P., Pollard S.J., Sarkar U., Longhurst P., 2005, *Estimating fugitive bioaerosol releases from static compost windrows: Feasibility of a portable wind tunnel approach*, *Waste Management*, 25(4), s. 445-450.
- Wéry N., 2014, *Bioaerosols from composting facilities – A review*, *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 4, s. 42-48.