

AUTOREFERAT

przedstawiający opis osiągnięć naukowych
związanych z postępowaniem habilitacyjnym

dr inż. Barbara Breza-Boruta

Katedra Mikrobiologii i Technologii Żywności
Wydział Rolnictwa i Biotechnologii
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy

Bydgoszcz, 2018

Spis treści

I. Życiorys naukowy i przebieg pracy zawodowej	3
II. Opis osiągnięcia naukowego	4
II.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	4
II.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego	4
II.3. Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	5
II.3.1. Wprowadzenie i cel badań	5
II.3.2. Analiza wyników badań	8
II.3.3. Podsumowanie wyników prac dokumentujących osiągnięcie naukowe	27
II.3.4. Piśmiennictwo	29
III. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	31
IV. Zestawienie dorobku naukowego z uwzględnieniem wskaźników bibliometrycznych ...	45
IV.1. Wskaźniki bibliometryczne dorobku	46

I. Życiorys naukowy i przebieg pracy zawodowej

Imię i nazwisko: Barbara Breza-Boruta

Posiadane dyplomy i stopnie naukowe - z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania:

- 1984-1988 – 4-letnie Liceum Ogólnokształcące im. Józefa Wybickiego w Kościerzynie, woj. pomorskie.
- 1988-1993 – 5-letnie, jednolite studia magisterskie w systemie stacjonarnym, realizowane na kierunku Rolnictwo Wydziału Rolniczego (obecnie Wydział Rolnictwa i Biotechnologii), Akademii Techniczno-Rolniczej (obecnie Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy) w Bydgoszczy.
- 1.07.1993 – tytuł magistra inżyniera rolnictwa; praca dyplomowa pt. „Skład chemiczny masy glebowej i frakcji ilastej gleb obszaru Rolniczego Zakładu Doświadczalnego w Mochelku” wykonana w Katedrze Gleboznawstwa, pod kierunkiem prof. dr hab. Wojciecha Cieśli.
- 1991–1993 – 4-semestralne dzienne Studium Przygotowania Pedagogicznego ukończone w Instytucie Nauk Humanistycznych i Ekonomicznych Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy.
- 1996-2000 – 4-letnie studia doktoranckie, w systemie niestacjonarnym, na Wydziale Rolniczym Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, w dyscyplinie agronomia, specjalność: podstawy produkcji roślinnej i agrotechnika.
- 22.11.2002 – stopień naukowy doktora nauk rolniczych w dyscyplinie agronomia nadany uchwałą Rady Wydziału Rolniczego, Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Tytuł rozprawy doktorskiej „Właściwości antagonistyczne promieniowców z rodzaju *Streptomyces* w stosunku do wybranych mikroorganizmów w uprawie ziemniaka”, wykonana w Katedrze Mikrobiologii, promotor: prof. dr hab. Stanisław Sadowski, em. prof. zw. UTP w Bydgoszczy. Praca wyróżniona przez dwóch recenzentów.

Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

- 01.09.1994 – 28.02.2003 - asystent naukowo-dydaktyczny w Katedrze Mikrobiologii, Wydział Rolniczy, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy.
- 01.03.2003 – obecnie – adiunkt w Katedrze Mikrobiologii i Technologii Żywności, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.

II. Opis osiągnięcia naukowego

Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)

II.1. Tytuł osiągnięcia naukowego:

Zagrożenia mikrobiologiczne środowiska przyrodniczego związane z funkcjonowaniem obiektów gospodarki komunalnej i nielegalnym składowaniem odpadów

II.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego:

(autor/autorzy, tytuł publikacji, nazwa wydawnictwa, rok wydania, impact factor IF i punktacja MNiSW aktualna w roku publikacji)

1. **Breza-Boruta B.**, Paluszak Z. The influence of a waste water plant on the microbiological composition of the air bioaerosol. Polish Journal of Environmental Studies 2007, 16 (5), 663-670.
IF 0,627; pkt MNiSW 10; **udział 90%**, autor korespondencyjny
2. **Breza-Boruta B.**, Paluszak Z. Występowanie gronkowców antybiotykoopornych w powietrzu atmosferycznym na terenie oczyszczalni ścieków. Medycyna Weterynaryjna 2007, 63 (6), 717-720.
pkt MNiSW 10, **udział 90%**, autor korespondencyjny
3. **Breza-Boruta B.**, Paluszak Z. Emisja bioaerozolu z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków. Przemysł Chemiczny 2009, 88 (5), 402-405.
IF 0,332: pkt MNiSW 15, **udział 90%**, autor korespondencyjny
4. **Breza-Boruta B.** The assessment of airborne bacterial and fungal contamination emitted by a municipal landfill site in Northern Poland. Atmospheric Pollution Research 2016, 7 (6), 1043-1052. DOI.org/10.1016/j.apr.2016.06.011
IF 1,637; pkt MNiSW 20, **udział 100%**

5. **Breza-Boruta B.** Bioaerosols of the municipal waste landfill site as a source of microbiological air pollution and health hazard. *Ecological Chemistry and Engineering A* 2012, 19 (8), 851-862.
pkt MNiSW 7, **udział 100%**
6. **Breza-Boruta B.**, Lemanowicz J., Bartkowiak A. Variation in biological and physicochemical parameters of the soil affected by uncontrolled landfill sites. *Environmental Earth Sciences* 2016, 75: 201. DOI 10.1007/s12665-015-4955-9
IF 1,569; pkt MNiSW 25, **udział 75%**, autor korespondencyjny
7. Bartkowiak A., **Breza-Boruta B.**, Lemanowicz J. Assessment of the content of heavy metals and potential pathogenic microorganisms in soil under illegal dumping sites. *Environmental Earth Science* 2016, 75: 1401. DOI 10.1007/s12665-016-6217-x
IF 1,569; pkt MNiSW 25, **udział 40%**.

Łączna wartość bibliometryczna publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe wynosi **112** punktów (pkt MNiSW liczono zgodnie z rokiem wydania pracy).

Sumaryczny współczynnik Impact Factor (IF) ww. publikacji według Journal Citation Reports wynosi **5,734**.

Oświadczenia współautorów prac określające ich indywidualny wkład w powstanie poszczególnych publikacji stanowi załącznik nr 6.

II.3. Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

II.3.1. Wprowadzenie i cel badań

Zakłady gospodarki komunalnej w Polsce i na świecie, mimo stosowania coraz to nowszych technologii mogą stanowić poważne obciążenie dla środowiska, z uwagi na depozycję różnych związków negatywnie oddziałujących na wszystkie jego komponenty. Obiekty takie jak, składowiska odpadów komunalnych, sortownie, oczyszczalnie ścieków oraz kompostownie są emitarami zanieczyszczeń gazowych, pyłowych i mikrobiologicznych. Ze względu na specyfikę przerabianych surowców stwarzają one dogodne warunki do rozwoju drobnoustrojów, które w trakcie prowadzonych procesów mogą być unoszone w powietrze

w formie bioaerozoli i z łatwością transportowane na tereny poza granicami zakładów. Zasięg emisji drobnoustrojów, ich liczebność, skład gatunkowy oraz przeżywalność zależą od wielu czynników np.: typu i położenia obiektu, rodzaju ścieków i odpadów, zastosowanej technologii ich utylizacji, ale także od warunków meteorologicznych, właściwości fizykochemicznych powietrza, ukształtowania terenu, pory roku (Korzeniewska 2011; Pankhurst i in. 2011).

Powietrze atmosferyczne nie jest środowiskiem sprzyjającym do życia drobnoustrojów, a jedynie ośrodkiem okresowego ich przebywania, w którym się nie namnażają, jednakże zachowują swój potencjał infekcyjny. Należy podkreślić, że unoszący się bioaerozol pod wpływem sił grawitacyjnych opada i może gromadzić się na powierzchni gleb, wód, roślin, a ponadto wraz z wodą migrować do głębszych warstw gleby. Dlatego bardzo ważna jest ocena składu bioaerozolu, bowiem występować w nim mogą nie tylko mikroorganizmy saprofityczne, ale także oportunistyczne i chorobotwórcze dla ludzi i zwierząt. Istotnym zagrożeniem dla otoczenia są również obecne w powietrzu metabolity wtórne mikroorganizmów o działaniu alergizującym i immunotoksycznym, m.in. endo- i egzotoksyny, mykotoksyny, glukany, proteiny, enzymy (Schlosser i in. 2016; Vilavert i in. 2012). Mikroorganizmy przenoszone drogą aerogenną mogą wnikać do organizmu człowieka przez drogi oddechowe, ale także uszkodzony naskórek oraz układ pokarmowy. Najczęściej obserwowanymi skutkami chorobowymi w wyniku kontaktu z aerozolami biologicznymi są: reakcje zapalne błon śluzowych dróg oddechowych i układu pokarmowego, astma, zapalenie pęcherzyków płucnych, alergie, podrażnienia oczu oraz skóry (Górny 2010; Pearson i in. 2015). Szczególnie narażeni na ich szkodliwe działanie są pracownicy zakładów przetwarzania odpadów komunalnych, oczyszczalni ścieków oraz mieszkańcy okolicznych terenów. Potencjalnie chorobotwórcze mikroorganizmy przenoszone wraz z wiatrem mogą także osiadać i zanieczyszczać glebę oraz rośliny pól uprawnych lub działek zlokalizowanych w sąsiedztwie obiektów gospodarki komunalnej. Dlatego też coraz trudniej znaleźć odpowiednią lokalizację dla tych obiektów ze względu na liczne protesty lokalnej społeczności obawiającej się zagrożeń związanych z ich eksploatacją.

Potrzeba prowadzenia badań nad stopniem mikrobiologicznego skażenia powietrza na terenie i w otoczeniu obiektów komunalnych oraz ocena ryzyka zagrożenia środowiskowego i zdrowotnego jest wciąż aktualna i konieczna. Problematyka związana z tym zagadnieniem ciągle jest przedmiotem raczej dyskusji naukowych niż praktycznych działań służb sanitarno-epidemiologicznych oraz instytucji związanych z ochroną środowiska. Należy zaznaczyć, że zanieczyszczenie mikrobiologiczne powietrza następuje zwykle w sposób niezorganizowany i niekontrolowany. Trudności w interpretacji wyników związane są z dużą zmiennością

poziomu emisji mikroorganizmów w zależności od ich źródła powstawania oraz panujących warunków meteorologicznych. W dalszym ciągu zarówno w ustawodawstwie polskim, jak i światowym brakuje powszechnie obowiązujących kryteriów oraz norm dotyczących wartości dopuszczalnych stężeń drobnoustrojów w powietrzu atmosferycznym, co utrudnia przeprowadzenie obiektywnej oceny zagrożenia stwarzanego przez bioareozole.

W celu zapobiegania nadmiernemu składowaniu odpadów i szkodliwego ich oddziaływania na środowisko w ostatnich latach w Polsce znowelizowano niektóre akty prawne (Dz. U. z 2013 r. poz. 21, z późn. zm.; Dz. U. z 2016 r. poz. 250). Wdrożone uregulowania nie zakończyły trwającego od lat procederu nielegalnego składowania odpadów w miejscach do tego nieprzeznaczonych - tzw. „dzikich wysypisk”. Obecność substancji toksycznych w obrębie nielegalnie deponowanych odpadów oraz tworzące się odcieki przesiąkające w głąb profilu glebowego powodować mogą trwałą degradację środowiska glebowego. Dlatego też ocena skutków oddziaływania niekontrolowanych składowisk na biologiczny i sanitarny stan gleb ma istotne znaczenie z punktu widzenia ochrony środowiska oraz ekologii człowieka. Zmiany składu mikrobiocenotycznego oraz obecność mikroorganizmów patogennych są najwcześniejszym sygnałem zachodzących procesów degradacyjnych w środowisku (Schloter i in. 2003). Warto podkreślić, iż wskaźniki mikrobiologiczne uznawane są za jedne z najbardziej miarodajnych do określenia kierunku zmian oraz naruszenia homeostazy danego ekosystemu.

Cel badań

Prezentowany cykl publikacji jest efektem badań dotyczących mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza przez obiekty gospodarki komunalnej oraz oddziaływania nielegalnie składowanych odpadów na środowisko przyrodnicze w oparciu o ocenę wybranych parametrów mikrobiologicznych.

Podjęte badania miały na celu:

- oszacowanie wpływu specyfiki poszczególnych rodzajów zakładów gospodarki komunalnej na jakość mikrobiologiczną powietrza;
- wyznaczenie stanowisk lub etapów procesu technologicznego w badanych zakładach gospodarki ściekowej i odpadowej, będących źródłem największej emisji zanieczyszczeń mikrobiologicznych;
- oszacowanie zasięgu przemieszczania się bioaerozolu w wyniku ruchów powietrza na obszarach wokół obiektów gospodarki komunalnej;

- określenie dynamiki zmian sezonowych stężeń bioarozolu na obszarach wytypowanych zakładów oraz ocena jego rozprzestrzeniania się w zależności od pory roku i warunków meteorologicznych;
- ocena ryzyka zagrożenia środowiska przyrodniczego oraz narażenia zdrowia pracowników zakładów gospodarki komunalnej i okolicznych mieszkańców na szkodliwy bioaerazol bakteryjny i grzybowy;
- wskazanie możliwości wykorzystania indykatorów mikrobiologicznych do prognozowania i zapobiegania emisji szkodliwych zanieczyszczeń biologicznych przez obiekty gospodarki komunalnej;
- ocena stanu sanitarnego środowiska naturalnego w miejscach nielegalnego składowania odpadów oraz ich wpływu na skład mikrobiologiczny i zachwianie równowagi biologicznej w glebie.

II.3.2. Analiza wyników badań

Oczyszczalnie ścieków należą do ważnych źródeł emisji mikrobiologicznych zanieczyszczeń powietrza mogących znacząco oddziaływać na środowisko. W ciągu technologicznym tego typu obiektów wyróżnić można kilka newralgicznych punktów, które w sposób szczególny mogą wpływać na emisję bioaerozolu. W pracach **nr 1, 2 i 3** wchodzących w cykl publikacji osiągnięcia naukowego na podstawie określonych parametrów mikrobiologicznych dokonano oceny jakości mikrobiologicznej powietrza i zagrożenia emitowanego bioaerozolu na terenie dwóch oczyszczalni ścieków oraz w ich bezpośrednim sąsiedztwie.

W pracy **nr 1** badaniami objęto Miejską Oczyszczalnię Ścieków (MOŚ) w Toruniu zajmującą powierzchnię terenu 9,5 ha. Technologia oczyszczania ścieków opierała się na systemie mechaniczno-biologicznym z automatycznym sterowaniem procesu napowietrzania oraz stabilizacją i utylizacją osadu pościekowego. Jej maksymalna przepustowość wynosiła 90 tys. m³ na dobę, a ilość powstającego osadu dochodziła do 80 t na dobę. Stanowiska pomiarowe wyznaczono w trzech punktach uznawanych za najbardziej potencjalne emitory zanieczyszczeń mikrobiologicznych, tj. przy piaskownikach, komorach napowietrzania oraz w miejscu usypywania przyzmu kompostu. Kolejny, czwarty punkt wytypowano 100 m poza granicami działki oczyszczalni (po stronie zawietrznej). Badania prowadzono w okresie od maja do grudnia, co pozwoliło na określenie sezonowej zmienności liczby mikroorganizmów

unoszących się w powietrzu. Próbki powietrza pobrano metodą zderzeniową przy użyciu impaktora MAS – 100 Eco™.

Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że w badanej oczyszczalni do największej emisji bakterii ogółem, promieniowców oraz grzybów pleśniowych do powietrza dochodziło na poletkach z pryzmami kompostu. Uzyskane stężenia aerozolu bakteryjnego i grzybowego nie przekraczały wartości 10^4 jtk·m⁻³, natomiast stężenie promieniowców wynosiło maksymalnie $10,4 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³. W przypadku bakterii z rodzaju *Pseudomonas* największą liczebność oznaczono w bioaerozolu przy piaskownikach, uzyskując $4,4 \cdot 10^1$ jtk·m⁻³. Ocenę stopnia zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza atmosferycznego w niniejszej pracy dokonano w oparciu o Polskie Normy PN-89/Z-04111/02 i PN-89/Z-04111/03 (1989). Pozwoliło to sklasyfikować badane powietrze jako silnie zanieczyszczone przez bakterie ogółem w ośmiu seriach pomiarowych (w tym 6 razy na poletkach z kompostem, dwukrotnie przy komorach napowietrzania i w punkcie poza granicami oczyszczalni). Silnie zanieczyszczone powietrze zarodnikami grzybów odnotowano tylko w jednym terminie, natomiast promieniowcami aż w dziewięciu. W tych przypadkach należy uznać badane powietrze jako zagrażające środowisku naturalnemu. Z kolei emisja bakterii z rodzaju *Pseudomonas* przyczyniła się do średniego zanieczyszczenia powietrza na wszystkich stanowiskach pomiarowych w całym cyklu badawczym, z jednym wyjątkiem (nie wykryto ich w grudniu w odległości 100 m od obiektu). Należy jednak podkreślić, że wykorzystywane w pracy akty prawne na przestrzeni ostatnich lat uległy w pewnym stopniu dezaktualizacji i wymagają nowelizacji. Ponadto zawarte w tych normach wartości progowe nie mają odniesienia do skutków środowiskowych oraz zdrowotnych człowieka. Mimo, że normy te obecnie są nieobowiązujące to nadal wykorzystuje się je w licznych opracowaniach. W Polsce, podobnie jak i na świecie nie ma ustalonych wartości normatywnych oraz kryteriów oceny narażenia na bioaerozole o charakterze obligatoryjnym. Dlatego też interpretacja wyników pomiarów poziomu stężeń bioaerozoli w powietrzu atmosferycznym jest utrudniona ze względu na brak powszechnie obowiązujących wartości dopuszczalnych stężeń mikroorganizmów. Jednocześnie należy zaznaczyć, że polski Zespół Ekspertów ds. Czynników Biologicznych Międzyresortowej Komisji ds. Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy opracował i złożył propozycję oceny stopnia zanieczyszczenia mikrobiologicznego powietrza atmosferycznego. Opiera się ona na dwóch kryteriach, tj. akceptowalny (dopuszczalne stężenie bakterii i grzybów ≤ 5000 jtk·m⁻³, promieniowców termofilnych ≤ 200 jtk·m⁻³) oraz nieakceptowalny (stężenia bakterii, grzybów i promieniowców przekraczają podane wartości) (Górny 2010; Augustyńska, Pośniak 2016).

W oparciu o te zalecenia należy stwierdzić, że nieakceptowalny stopień zanieczyszczenia powietrza przez bakterie i grzyby na terenie MOŚ w Toruniu najczęściej występował przy przyzmach kompostu, zaś w punkcie odległym 100 m od ogrodzenia zakładu w całym okresie badawczym uzyskane stężenia bioaerozolu były akceptowalne.

W ocenie stopnia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego ważna z punktu widzenia zagrożenia środowiska i zdrowia człowieka jest nie tylko liczba mikroorganizmów, opisywana w jednostkach tworzących kolonie (jtk), ale również przynależność do rodzaju i gatunku. Gotkowska-Płachta i in. (2013) prowadząc badania w otoczeniu oczyszczalni ścieków komunalnych wykazały, że skład jakościowy mikrobioty powietrza jest ściśle powiązany z rodzajem i liczebnością mikroorganizmów obecnych w ściekach. Dlatego też w prezentowanej pracy jak i kolejnych podejmujących tematykę emisji bioerozoli, zwrócono szczególną uwagę na oznaczenie bakterii wskaźnikowych zanieczyszczenia fekalnego - typowych dla ścieków i odpadów. Bakterie pochodzenia kałowego z rodziny *Enterobacteriaceae* oraz rodzaju *Enterococcus* powszechnie obecne w ściekach (10^6 - 10^7 jtk w 1 cm^3) wydają się być trafnym indyktem, zwłaszcza przy określeniu źródła skażenia bioaerozolu i kierunku jego rozprzestrzeniania. Katalog wybranych bakterii wskaźnikowych do badań nie pokrywał się z zaleceniami polskiej normy w zakresie oznaczanych grup mikroorganizmów. Stanowiło to wówczas o pewnej specyfice zastosowanej metody pomiaru. Przyjęcie tylko ogólnej liczby mikroorganizmów jako wskaźnika zanieczyszczenia powietrza nie pozwala na dokładne stwierdzenie zagrożenia chorobotwórczego oraz określenie rzeczywistego źródła bakterii w powietrzu. Stąd też w badaniach własnych ocenę stopnia zanieczyszczenia powietrza dokonywano zawsze w oparciu o oznaczone bakterie *E. coli*, *Salmonella* spp. oraz paciorkowce kałowe typu-D. Na terenie badanej oczyszczalni ścieków najwięcej pałeczek *E. coli* i *Salmonella* spp. oraz *Enterococcus* spp. stwierdzono w powietrzu przy piaskownikach. Zdecydowanie rzadziej i w niższych stężeniach występowały one w bioaerozolu przy komorach napowietrzania i na poletkach z kompostem (maks. $19\text{ jtk}\cdot\text{m}^{-3}$). W próbkach powietrza pobranych poza oczyszczalnią ścieków obecność enterokoków stwierdzono w okresie od maja do lipca, natomiast bakterii *E. coli* i *Salmonella* spp. nie wykryto w całym okresie badawczym. Uzyskane wyniki wskazują, że monitorowana oczyszczalnia ścieków nie przyczyniła się do rozprzestrzeniania w powietrzu bakterii typu kałowego. Ze względu na zastosowaną technologię oczyszczania ścieków, jej lokalizację, a także ukształtowane wokół terenu nie dochodziło do przenoszenia szkodliwego bioaerozolu poza granice zakładu. Warto zwrócić uwagę na wielkość emisji zanieczyszczeń przy komorach napowietrzania, bowiem tylko w niewielu przypadkach zaobserwowano tu silnie skażone

powietrze przez bioaerazol i bardzo niską liczebność lub brak bakterii kałowych. Z danych literaturowych wynika, że w oczyszczalniach ścieków najbardziej narażone na skażone powietrze są obszary przyległe do komór napowietrzania (Korzeniewska 2011; Vilavert i in. 2012). W badaniach własnych nie zaobserwowano tych tendencji, ponieważ źródłem największego zanieczyszczenia powietrza okazały się przyzmy dojrzewającego kompostu i piaskowniki. Podobne zależności oraz zbliżony poziom emisji drobnoustrojów uzyskano w badaniach przeprowadzonych w następnym roku na terenie MOŚ w Toruniu, których wyniki opublikowano w pracy nie wchodzącej w cykl osiągnięcia naukowego [zał. 3.II, praca nr 2.32]. Tym bardziej potwierdza to wykazane w pracy nr 1 tendencje i skalę emisji bioaerozolu na poszczególnych stanowiskach pomiarowych w badanej oczyszczalni.

Na szczególną uwagę wśród bakterii występujących w bioaerozolu zasługują gronkowce, do których należą zarówno gatunki saprofityczne (naturalna mikrobiota skóry i błon śluzowych), jak i niebezpieczne patogeny ludzi oraz zwierząt. Dlatego też, bakterie z rodzaju *Staphylococcus* traktowane są jako sanitarne wskaźniki zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego i wskazują na możliwość występowania w nim drobnoustrojów chorobotwórczych. Zwłaszcza gronkowce hemolizujące mannitolododatnie, do których należy *Staphylococcus aureus* są wskaźnikiem specyficznego, a zarazem niebezpiecznego skażenia powietrza. Gronkowce, mimo że nie wytwarzają form przetrwalnikowych wykazują zdolność długotrwałego bytowania w powietrzu. Dodatkowym czynnikiem ochronnym są wytwarzane przez nie pigmenty, takie jak stafyloksantyna i diaponenoporyna, zabezpieczające komórkę przed działaniem promieniowania słonecznego (Nowakowicz-Dębek i in. 2016). Dużym zagrożeniem jest transmisja środowiskowa gronkowców lekoopornych, do której przyczyniają się również ścieki. Antybiotykooporność bakterii przenoszonych przez powietrze atmosferyczne na terenach obiektów komunalnych oraz w ich otoczeniu była do tej pory mało poznana. Oznaczenie gronkowców w bioaerozolu z uwzględnieniem wśród nich szczepów antybiotykoopornych, jest ważnym aspektem badań, a także wskaźnikiem określającym zagrożenie dla środowiska i zdrowia człowieka.

Problem badawczy podjęty w **pracy nr 2** dotyczył emisji gronkowców i ich przenoszenia w bioaerozolu na terenie Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Toruniu oraz określenia stopnia zagrożenia wynikającego z obecności szczepów antybiotykoopornych. Był to ten sam obiekt, na którym dokonywano pomiarów i oceny mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza, co opisany w pracy nr 1. W tych samych punktach pomiarowych w okresie od maja do października pobierano próbki powietrza każdorazowo o objętości $5 \times 10^2 \text{ dm}^3$. Na podstawie przeprowadzonych badań wyodrębniono gronkowce mannitolododatnie

i mannitoloujemne, a następnie u wszystkich izolatów sprawdzano reakcję na wytwarzanie koagulazy. Kolejny etap badań polegał na oznaczeniu antybiotykoodporności dla losowo wybranych 42 szczepów *Staphylococcus* spp. pochodzących ze wszystkich punktów pomiarowych. W celu uzyskania pełnego spektrum oporności szczepów gronkowców wykorzystano antybiotyki z różnych grup: beta-laktamowych, aminoglikozydowych, glikopeptydowych, makrolidów, tetracyklin, linkozamidów oraz glikozydowych. Wrażliwość określano metodą dyfuzyjno-krażkową, a interpretację wyników wykonano zgodnie z rekomendacjami Krajowego Ośrodka Referencyjnego ds. Lekowrażliwości Drobnoustrojów.

Najbardziej zanieczyszczone powietrze gronkowcami stwierdzono w pobliżu piaskowników oraz przy usypanych przyzmach kompostu. Wśród oznaczonych gronkowców zdecydowanie liczniej występowały mannitolododatnie, których liczebność dochodziła do $10,8 \cdot 10^1$ jtk \cdot m⁻³. Zauważono, że w całym okresie badawczym największa emisja gronkowców zarówno mannitoloujemnych, jak i mannitoloujemnych miała miejsce w sierpniu. Mogło to być związane z warunkami meteorologicznymi panującymi w tym miesiącu (m.in. wysoką temperaturą powietrza), co zapewne korzystnie wpływało na przeżywalność gronkowców w bioaerozolu. Na uwagę zasługuje niskie stężenie *Staphylococcus* spp. (nie przekraczające 7 jtk \cdot m⁻³) lub ich brak w próbkach powietrza pobranych w punkcie oddalonym 100 m od oczyszczalni. Mimo sprzyjających warunków pogodowych (temperatury, kierunku i prędkości wiatru), to w tym miejscu gronkowce mannitolodotanie i mannitoloujemne wykryto tylko w dwóch terminach. Uzyskane wyniki wskazują, że nie dochodziło do transmisji gronkowców z bioaerozolem z oczyszczalni na tereny poza jej granicami.

Ważną cechą wykrytą u wszystkich badanych izolatów mannitolododatnich gronkowców była zdolność do wytwarzania koagulazy. Enzym ten jest ważnym czynnikiem wirulencji dla bakterii. Uważa się bowiem, że szczepy koagulazododatnie są potencjalnie bardziej patogenne niż koagulazoujemne (Nowakowicz-Dębek i in. 2016). Wytwarzane przez nie enzymy proteolityczne, toksyny (m.in. enterotoksyna wywołująca ciężkie zatrucia pokarmowe, toksyna epidermolityczna, czy też toksyna wstrząsu toksycznego TSST-1) i inne czynniki zjadliwości sprawiają wysokie ryzyko różnego typu infekcji oraz zakażeń u narażonych na ich obecność pracowników oczyszczalni czy też okolicznej ludności. Oceniając wrażliwość badanych gronkowców na antybiotyki stwierdzono wysoką skuteczność metycyliny (59,6% szczepów wrażliwych i 33,3 % średnio wrażliwych). Brak oporności wykazywały również gronkowce wobec erytromycyny i wankomycyny (40,5% szczepów wrażliwych). W przypadku działania streptomycyny i gentamycyny większość szczepów charakteryzowała się średnią wrażliwością (odpowiednio 64,3% i 66,7%). Podobną aktywnością odznaczały się tetracyklina i oksacylina.

Najsłabiej na testowane gronkowce oddziaływała nowobiocyna, bowiem aż 66,7% szczepów było opornych na ten antybiotyk. Mało skuteczna okazała się także linkomycyna, wobec której oporność wykazywało ponad 38% szczepów. Na uwagę zasługuje oznaczenie 3 szczepów gronkowców opornych na działanie wankomycyny. Do tej pory wankomycynooporne szczepy były najczęściej wykrywane w środowisku szpitalnym. Niestety, od jakiegoś czasu obserwuje się znaczny wzrost zakażeń gronkowcowych w przypadku infekcji pozaszpitalnych (Nowakowicz-Dębek i in. 2016). Tosas Auguet i in. (2016) w swojej pracy zwrócili uwagę na zakażenia wywoływane szczepami środowiskowymi *S. aureus* CA-MRSA (community-associated methicillin-resistant *S. aureus*), które z epidemiologicznego punktu widzenia mogą okazać się większym zagrożeniem niż szczepy szpitalne HA-MRSA (health-care-associated methicillin-resistant *S. aureus*). W prezentowanych badaniach źródłem emisji lekoopornych gronkowców obecnych w bioaerozolu na terenie i w sąsiedztwie zakładu były najprawdopodobniej oczyszczane ścieki. Wskazuje to na realne zagrożenie dla środowiska naturalnego, a zwłaszcza dla pracowników oczyszczalni ścieków o obniżonej odporności. Z danych literaturowych wynika, że szczepy gronkowców izolowane z innych źródeł niż szpitalne są najczęściej wrażliwe na większość antybiotyków, a oporne jedynie na metycylinę i tetracykliny (Li i in. 2015, Tosas Auguet i in. 2016). Nie potwierdzają tego wyniki uzyskane w pracy nr 2, ponieważ najwięcej badanych gronkowców okazało się opornych na antybiotyki z grupy glikozydowych i linkozamidów. Z kolei pewnym zaskoczeniem był duży odsetek szczepów wrażliwych na antybiotyki beta-laktamowe (metycylinę i oksacylinę), na które obecnie wykazuje oporność większość diagnozowanych gronkowców.

Przeżywalność gronkowców w powietrzu i łatwość z jaką są przenoszone w bioaerozolu oraz posiadane czynniki wirulencji w połączeniu z ich narastającą opornością na antybiotyki, czyni je jednymi z najpoważniejszych zagrożeń w środowisku (Li i in. 2015). Należy podkreślić, że zakażenia gronkowcowe stanowią bardzo poważny problem medyczny i epidemiologiczny, zmuszając do poszukiwania nowych grup związków o potencjale terapeutycznym. Jednakże o wiele skuteczniejszym rozwiązaniem jest ograniczanie miejsc ich namnażania i wyeliminowanie dróg ich przenoszenia. Z pewnością jednym ze źródeł emisji antybiotykoopornych gronkowców do środowiska są oczyszczalnie ścieków, co wykazały prezentowane wyniki.

Reasumując, opisane w pracach nr 1 i 2 wyniki dotyczące stężenia bioaerozolu na terenie oczyszczalni ścieków w Toruniu wskazują, że największym emitorem potencjalnie chorobotwórczych bakterii, takich jak pałeczki *E. coli*, *Salmonella* spp., paciorkowce kałowe oraz gronkowce były piaskowniki w części mechanicznej, a następnie poletka z pryzmami

kompostu, stanowiące zarazem realne zagrożenie zdrowotne dla pracowników oczyszczalni, narażonych na ekspozycję bioaerozolu przy tych stanowiskach w czasie pracy.

Problem badawczy, który został podjęty w pracy **nr 3** dotyczył emisji bioaerozolu przez mechaniczno-biologiczną oczyszczalnię ścieków w Słupsku. Skupiono się przede wszystkim na zasięgu jego rozprzestrzeniania na tereny położone w sąsiedztwie zakładu. Niniejsze badania podjęto z uwagi na liczne skargi oraz wyrażane niezadowolenie okolicznych mieszkańców związane z emisją zanieczyszczeń mikrobiologicznych i uciążliwością zapachową oczyszczalni. Oczyszczalnia ta przystosowana jest do głębokiego usuwania związków biogenych w trójfazowym, modyfikowanym procesie Bardenpho, uzupełnionym komorą predenitryfikacji. Zakład podzielono funkcjonalnie na część ściekową, osadową i energetyczną, w tym niektóre obiekty zostały zhermetyzowane. Obciążenie ładunkowe oczyszczalni wynosiło 180000 RLM., a średni przepływ dobowy ok. 23300 m³. Próbki powietrza do badań pobierano w miejscach uznanych za największe potencjalne emitery aerozolu biologicznego, tj. w kompostowni oraz przy otwartych basenach fermentacyjnych - składających się z dwóch komór o pojemności 15000 m³. Punkty poza oczyszczalnią ustalano każdorazowo po konsultacjach z mieszkańcami na terenie gospodarstw rolnych, ogródków działkowych oraz posesji domów jednorodzinnych w odległości do 800 m poza zakładem w kierunku wschodnim, południowo-zachodnim lub zachodnim (w zależności od dominującego kierunku wiatru). Takie rozmieszczenie stanowisk badawczych umożliwiło określenie zasięgu oddziaływania oczyszczalni na stan sanitarny powietrza, natomiast wykonanie 4 serii pomiarów (w okresie jesiennym, zimowym, wiosennym oraz wczesnoletnim) pozwoliło na określenie sezonowej zmienności emisji bioaerozolu. W oparciu o uzyskane wyniki badań najbardziej zanieczyszczone powietrze okazało się na terenie kompostowni. Wykazano tam najwyższe stężenie bakterii mezofilnych ($17,2 \cdot 10^3$ jtk·m⁻³), promieniowców ($5,2 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³), gronkowców ($9,5 \cdot 10^1$ jtk·m⁻³), pałeczek *Salmonella* spp. ($3,0 \cdot 10^1$ jtk·m⁻³) oraz paciorkowców kałowych ($4,6 \cdot 10^1$ jtk·m⁻³). Nie stwierdzono istotnego generowania aerozolu bakteryjnego z otwartych basenów fermentacyjnych, co potwierdziły niskie liczebności badanych mikroorganizmów. Również emisja aerozolu grzybowego zarówno na terenie oczyszczalni, jak i w jej otoczeniu kształtowała się na niskim poziomie w granicach od 9 jtk do $11,7 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³. W całym okresie badawczym na wszystkich stanowiskach pomiarowych powietrze sklasyfikowano jako niezanieczyszczone grzybami pleśniowymi. Na uwagę zasługują wyniki składu bioaerozolu oznaczonego na terenach sąsiadujących z oczyszczalnią, które wskazują, że powietrze nie było zanieczyszczone mikrobiologicznie i nie stanowiło większego zagrożenia dla środowiska. W punktach zlokalizowanych w różnych odległościach i kierunkach od oczyszczalni ścieków

stężenie bakterii ogółem dochodziło jedynie do $46,5 \cdot 10^1$ jtk \cdot m $^{-3}$, grzybów pleśniowych do $48,3 \cdot 10^1$ jtk \cdot m $^{-3}$ oraz promieniowców do $4,5 \cdot 10^1$ jtk \cdot m $^{-3}$. Sporadyczna obecność lub brak bakterii kałowych *Salmonella* spp. i *Enterococcus* spp. w próbkach powietrza pobranych na stanowiskach poza terenem oczyszczalni, świadczyć może o znikomym oddziaływaniu oczyszczalni na otoczenie. Jak wcześniej wspomniano bardzo ważnym wskaźnikiem zanieczyszczenia powietrza jest obecność w nim gronkowców. W badanym bioaerozolu najczęściej zidentyfikowano gronkowców mannitolododatnich, zaś mannitoloujemne występowały zdecydowanie rzadziej (poza oczyszczalnią wykryto je tylko cztery razy w całym okresie badań). Warto nadmienić, że w analizowanych próbkach powietrza oznaczano także pałeczki *E. coli* i inne bakterie z grupy coli. Ich obecność odnotowano tylko w jednym terminie na terenie oczyszczalni (2 jtk \cdot m $^{-3}$), natomiast w punktach wyznaczonych poza zakładem (w odległości 600 i 800 m) nie stwierdzono ich obecności. Wyniki badań emisji bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* na terenie oczyszczalni i w jej otoczeniu opublikowano w pracy nie wchodzącej w cykl publikacji osiągnięcia naukowego [zał. 3.II, praca nr 2.29]. **Reasumując, stwierdzono** że oczyszczalnia ścieków w Słupsku nie wpływała negatywnie na jakość mikrobiologiczną powietrza w jej otoczeniu i nie stanowiła zagrożenia zdrowotnego dla okolicznej ludności. Rozwiązania technologiczne zastosowane w opisywanej oczyszczalni wraz z częściową hermetyzacją obiektów zakładu przyczyniły się do ograniczonej emisji i rozprzestrzeniania drobnoustrojów w powietrzu.

Przedstawione wyniki badań w pracach 1-3 mają również walor aplikacyjny, ponieważ wskazują, że technologie wprowadzone przez te dwie oczyszczalnie ścieków wpłynęły na ograniczenie emisji szkodliwego bioaerozolu. Ma to także wymiar ogólnospołeczny, bowiem negatywne nastawienie i obawy lokalnej społeczności związane z lokalizacją oczyszczalni okazują się być bezpodstawne i bezprzedmiotowe. Zarówno nowo projektowane, jak i modernizowane zakłady oczyszczania ścieków powinny prowadzić szeroko zakrojoną kampanię informacyjną i wykorzystać do tego celu wyniki badań zaprezentowane w niniejszych publikacjach.

Do obiektów gospodarki komunalnej generujących relatywnie duże, a nawet jak podają niektóre źródła największe ilości bioaerozolu należą składowiska odpadów komunalnych (Abdel Hameed i in. 2015; Kaźmierczuk, Bojanowicz-Bablok 2014). Ze względu na sposób i ilość składowanych odpadów w otwartych kwaterach, a także powstający biogaz i odcieki są one uznawane w porównaniu z oczyszczalniami ścieków za bardziej niebezpieczne emitory zanieczyszczeń. W piśmiennictwie krajowym i zagranicznym problematyka emisji bioaerozolu przez składowiska odpadów komunalnych jest w ostatnich latach dość szeroko opisywana.

Jednakże obiekty te różnią się nie tylko zastosowaną technologią, położeniem i ukształtowanym wokół terenem, a także panującymi warunkami klimatycznymi. Dlatego też, każdy tego typu obiekt wyróżnia się pewną specyfiką i stwarzać może mniejsze bądź większe zagrożenie dla otaczającego środowiska. Tylko indywidualne podejście do każdego z nich poprzez badania wybranych parametrów mikrobiologicznych pozwala określić najważniejsze zagrożenia biologiczne i ich skalę. Uzasadnionym, więc był wybór Zakładu Utylizacji Odpadów Komunalnych w Inowrocławiu, jako obiektu na terenie którego po raz pierwszy przeprowadzono pomiary mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza oraz ocenę zasięgu rozprzestrzeniania się bioaerozolu na otoczenie. Szeroko zakrojone badania obejmowały 7 punktów pomiarowych przez okres 9 miesięcy, co łącznie stanowiło 1062 próbek powietrza. Zgromadzone i opracowane wyniki badań posłużyły do opublikowania **pracy nr 4** wchodzącej w skład osiągnięcia naukowego, a także zostały zaprezentowane na sympozjach naukowych [zał. 3.IV: B.25; B.27].

Stężenie i skład bioaerozolu określano na terenie zakładu w sektorze czynnym, na skarpie nasypowej obudowy składowiska naziemnego oraz w kompostowni – w trakcie przerzucania pryzm kompostu. Kolejne cztery stanowiska wytypowano poza ogrodzeniem obiektu w odległości 150 i 450 m w kierunku północnym od składowiska (na terenie gospodarstwa rolnego) oraz w odległości 1000 i 1250 m w kierunku wschodnim (na osiedlu domów jednorodzinnych). Do najważniejszych rezultatów pracy należała ocena zagrożenia zdrowotnego dla ludzi oraz ryzyka skażenia środowiska przez emitowany bioaerozol. W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że największe mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza miało miejsce w sektorze czynnym składowiska oraz w trakcie przesypywania pryzm kompostu. Na tych stanowiskach wystąpiło największe narażenie zdrowia pracowników zakładu. Do najbardziej niepożądanych drobnoustrojów wykrytych w badanym bioaerozolu należały: *E. coli*, mannitolododatnie i mannitoloujemne gronkowce, pałeczki *P. fluorescens* oraz gatunki grzybów potencjalnie alergizujących i toksynotwórczych. Istotnym czynnikiem wpływającym na poziom stężenia bioaerozolu bakteryjnego i grzybowego poza lokalizacją stanowisk pomiarowych była pora roku i związane z nią warunki mikroklimatyczne. Zdecydowanie najwięcej bakterii mezofilnych, grzybów pleśniowych, promieniowców, a także bakterii specyficznych świadczących o sanitarnym zanieczyszczeniu powietrza, stwierdzono w okresie letnim. Na uwagę zasługują wyniki uzyskane w punktach oddalonych 1000 i 1250 m na wschód od składowiska, gdzie stwierdzono w kilku terminach wyższe stężenie aerozolu bakteryjnego i grzybowego niż w punktach bliżej położonych tj. w odległości 150 i 450 m na północ od obiektu. Decydującym czynnikiem wpływającym na

transmisję i zasięg rozprzestrzeniania się bioaerozolu okazał się kierunek dominujących wiatrów, a w mniejszym stopniu odległość od emitora.

W pracy nr 4 zwrócono również uwagę na wysokie stężenie i łatwość unoszenia się w bioaerozolu promieniowców. Najwyższą ich liczebność stwierdzono w sektorze czynnym (do $2,3 \cdot 10^4$ jtk \cdot m $^{-3}$) i przy przyzmach kompostu (do $2,0 \cdot 10^4$ jtk \cdot m $^{-3}$) co pozwoliło zaklasyfikować badane powietrze jako silnie zanieczyszczone promieniowcami niemalże w całym okresie badawczym. Na terenach poza zakładem ich liczebność była już wielokrotnie niższa i mieściła się w granicach 10 jtk – $49,0 \cdot 10^1$ jtk \cdot m $^{-3}$. Analiza statystyczna (ANOVA) potwierdziła istotne różnice pomiędzy ilością promieniowców na poszczególnych stanowiskach pomiarowych. Ważnym elementem niniejszej pracy było określenie udziału (%) poszczególnych grup bakterii w stosunku do całości mikrobiomu bakteryjnego oznaczonego w powietrzu. Zaobserwowano, że największy udział procentowy stanowiły ziarenkowce i laseczki Gram-dodatnie, których ilość wzrastała w bioaerozolu wraz z oddalaniem się od składowiska (do 40% ogólnej liczby bakterii). Pałeczek Gram-ujemnych najwięcej oznaczono w sektorze czynnym, zaś poza terenem zakładu stanowiły one niewielki procent (8-15%) w stosunku do wszystkich oznaczonych bakterii. W odległości 1250 m od składowiska ich udział sukcesywnie się zmniejszał co wskazuje, że bakterie te są mniej przystosowane do niekorzystnych warunków panujących w powietrzu. Należy jednak podkreślić (w oparciu o dane literaturowe), że nawet martwe komórki bakterii Gram-ujemnych mogą być źródłem aktywnych immunologicznie endotoksyn i należą do jednego z groźniejszych składników bioaerozolu stanowiąc zagrożenie przede wszystkim dla zdrowia pracowników zakładów przetwarzania odpadów oraz mieszkańców w zasięgu ich oddziaływania (Pankhurst i in. 2011; Pearson i in. 2015). W przypadku promieniowców zdecydowanie największy ich udział procentowy w stosunku do ogółu bakterii odnotowano w trakcie przesiewania przyzmu kompostu.

Z uwagi na ochronę pracowników przed narażeniem na szkodliwe czynniki biologiczne ważnym było oznaczenie w bioaerozolu bakterii potencjalnie chorobotwórczych *Pseudomonas fluorescens*, *Staphylococcus* spp. oraz pałeczek *Escherichia coli*. Były one obecne w większości próbek powietrza pobranego na terenie sektora czynnego odpadów i kompostowni, natomiast poza granicami zakładu ich ilość zdecydowanie malała. Największe niebezpieczeństwo ze względu na wysokie stężenie w bioaerozolu stanowiły gronkowce, których najwięcej generował czynny sektor składowania odpadów (do $4,8 \cdot 10^3$ jtk \cdot m $^{-3}$). W punktach poza obiektem ich stężenie było zdecydowanie niższe, jednakże w dalszym ciągu stanowiły poważne ryzyko skażenia środowiska. Warto też wskazać na innych przedstawicieli z rodziny *Enterobacteriaceae* oraz paciorkowce kałowe, które wykryto w pobranych próbkach powietrza

(wyniki przedstawiono w doniesieniach konferencyjnych zał. 3.IV: B.25; B.27). Ich wysokie stężenie w bioaerozolu na terenie czynnego sektora składowiska (*Enterobacteriaceae* - $2,4 \cdot 10^3$ jtk·m⁻³ oraz *Enterococcus* spp. - $18,9 \cdot 10^3$ jtk· m⁻³), wskazuje jak istotnym i niebezpiecznym źródłem emisji były składowane odpady. Takie miejsca stwarzają poważne zagrożenie i potencjalne ryzyko wystąpienia infekcji, zwłaszcza u osób narażonych na długotrwałe przebywanie w skażonym mikrobiologicznie środowisku.

Bardzo istotnym aspektem badań w omawianej pracy było przedstawienie zagrożeń wynikających z obecności w powietrzu wykrytych gatunków grzybów. Wśród zidentyfikowanych grzybów dominowały rodzaje, *Aspergillus* (*A. niger*, *A. terreus*, *A. clavatus*), *Penicillium* (*P. notatum*, *P. citrinum*), *Rhizopus* (*R. nigricans*, *R. oryzae*), *Mucor* spp., *Fusarium* spp. oraz *Sclerotinia* (*S. sclerotiorum*), w mniejszych ilościach izolowano *Trichoderma viride*, *Absidia* spp. Wyniki badań taksonomicznych znalazły potwierdzenie w literaturze przedmiotu, ale również wykazały występowanie takich gatunków, których obecność była do tej pory rzadko potwierdzana przez innych autorów (Abdel Hameed i in. 2015; Schlosser i in. 2016). Na szczególną uwagę zasługują oznaczone gatunki potencjalnie chorobotwórcze, takie jak: *Aspergillus fumigatus*, *Cladosporium herbarum*, *Alternaria alternata*. Ich obecność w badanym powietrzu stwierdzono zarówno na terenie, jak i poza obiektem, co stanowić może poważne zagrożenie dla zdrowia pracowników zakładu i mieszkańców sąsiadujących terenów, bowiem grzyby te znane są z potencjalnych właściwości mykotoksynotwórczych oraz alergizujących. Mogą one przyczynić się do zachorowań takich jak: alergia, astma, grzybice oskrzelowo-płucne i infekcje ogólne (Kim i in. 2013). Szczególnie niebezpieczny jest *A. fumigatus* odpowiedzialny za ponad 90% grzybic płuc u ludzi. Niewielkie rozmiary jego konidiów (2-3 μm) pozwalają na rozprzestrzenianie się w całym układzie oddechowym (O’Gorman 2012). Natomiast toksynotwórcze gatunki z rodzaju *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* i inne mogą wywoływać działanie cytotoksyczne, neurotoksyczne, teratogenne i rakotwórcze (Vilavert 2012; Kim i in., 2013).

Wyniki badań przedstawione w pracy nr 4 dostarczają ważnych informacji o występowaniu szkodliwego bioaerozolu na terenie zakładu utylizacji odpadów i w jego otoczeniu. Obecność potencjalnie patogennych bakterii i grzybów w powietrzu wykazano nie tylko w bliskim sąsiedztwie ale do 1250 m poza zakładem. Bioaerozol przenoszony przez wiatr może przyczynić się do zanieczyszczenia gleby oraz roślinności na polach uprawnych i działkach ogrodniczych. Wyniki niniejszych badań wskazują na potrzebę regularnego monitorowania zanieczyszczenia powietrza za pomocą parametrów mikrobiologicznych w zakładzie utylizacji odpadów, a także na opracowanie strategii ograniczenia emisji

bioaerozolu. Pozwoli to na kompleksową ochronę pracowników przed szkodliwymi czynnikami biologicznymi w miejscu pracy oraz ograniczy ich uciążliwość dla otoczenia.

Praca nr 5 dokumentuje wyniki sezonowych badań stężenia i składu bioaerozolu na terenie Kompleksu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych w Wypaleniskach (4 km od Bydgoszczy). Nadrzędnym celem badań było określenie stopnia mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza w sortowni odpadów i ocena ewentualnego zagrożenia dla zdrowia pracowników zatrudnionych przy ich segregacji. W okresie prowadzonych badań zakład przyjmował ok. 150 000 ton odpadów rocznie. Na terenie obiektu znajdowały się stacja segregacji odpadów przyjmująca ok. 50 tys ton odpadów oraz trzy składowiska, w tym jedno zrekultywowane (eksploatowane w latach 1985-2003) i dwa w trakcie eksploatacji. Stanowiska do poboru próbek powietrza wytypowano w miejscach charakteryzujących się potencjalnie największym zanieczyszczeniem i zapyleniem tj. w sortowni odpadów oraz na czaszy składowiska. W celu określenia uciążliwości mikrobiologicznej zakładu na okoliczne tereny wyznaczono punkt poboru w odległości 200 m od granicy obiektu - na osiedlu domów jednorodzinnych. Okres badań obejmował sezony: wiosenny, letni, jesienny i zimowy. W ramach analiz mikrobiologicznych w bioaerozolu oznaczono liczebność bakterii mezofilnych, grzybów strzępkowych i drożdżoidalnych, promieniowców, bakterii *Pseudomonas fluorescens*, paciorkowców kałowych, bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* oraz gronkowców mannitolododatnich i mannitoloujemnych (wyniki tych ostatnich opublikowano w pracy nr 2.39 – zał. 3.II). Stwierdzono bardzo wysokie stężenie aerozolu bakteryjnego w hali sortowni, co pozwoliło sklasyfikować badane powietrze jako silne zanieczyszczone przez większość miesięcy w roku. Liczebność bakterii mezofilnych kształtowała się najczęściej na poziomie 10^4 jtk·m⁻³, *P. fluorescens* od 10^1 do $4,3 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³, promieniowców od 10^1 do $1,9 \cdot 10^3$ jtk·m⁻³. Jednak największe zagrożenie na tym stanowisku stanowiły emitowane do powietrza bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae*, w tym pałeczki *Salmonella* spp., których stężenie dochodziło do $2,8 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³ oraz *E. coli* ($1,2 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³). Na uwagę zasługuje wysokie stężenie paciorkowców kałowych od 1,4 do $12,5 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³, utrzymujące się przez cały okres badawczy (9 miesięcy). Również bardzo wysoka liczebność gronkowców zwłaszcza mannitolododatnich, która dochodziła do $1,2 \cdot 10^4$ jtk·m⁻³ przyczyniła się do silnego skażenia powietrza w sortowni. Tak zanieczyszczone mikrobiologicznie powietrze mogło stwarzać bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia osób tam pracujących, zwłaszcza pracowników, którzy nie przestrzegali zasad bezpieczeństwa oraz higieny pracy. Największe zagrożenie stwarzają bowiem składniki bioaerozolu, przenoszone drogą powietrzną w postaci fazy pyłowej lub kropelkowej, które wnikają do organizmu przez układ oddechowy, skórę,

blony śluzowe oraz drogą pokarmową przyczyniając się do wystąpienia różnych niekorzystnych skutków zdrowotnych (Park i in. 2011). Wyniki badań innych autorów wskazują, że robotnicy pracujący przy przeładunku i sortowaniu odpadów z uwagi na liczną obecność patogenów w powietrzu są w grupie zwiększonego ryzyka rozwoju chorób dróg oddechowych, przewodu pokarmowego, podrażnienia skóry, oczu i gardła (Pearson i in. 2015).

Czynniki biologiczne stanowią bardzo ważny i coraz częściej podejmowany aspekt badań medycyny pracy i zdrowia publicznego. Do prawa polskiego zostały wdrożone postanowienia dyrektywy 2000/54We Parlamentu Europejskiego i od 2005 r. obowiązuje Rozporządzenie Ministra Zdrowia (Dz.U. 2005. nr 81 poz. 716 z późn. zm.) w sprawie szkodliwych czynników biologicznych (SCB) dla zdrowia w środowisku pracy. W rozporządzeniu tym mikroorganizmy zaklasyfikowano do czterech grup zagrożenia SCB, w zależności od: wywoływanych chorób, możliwości rozprzestrzeniania się ich w populacji ludzkiej oraz skuteczności metod profilaktyki i/lub leczenia. W oparciu o wyniki zawarte w pracy **nr 5** stwierdzono, że pracownicy tego zakładu byli narażeni na drobnoustroje zaliczane do grupy 1. i 2. zagrożenia, m.in.: bakterie z rodzaju *Enterococcus*, *Staphylococcus*, niektóre gatunki grzybów, w tym *Aspergillus fumigatus*. Również w sektorze czynnym składowiska dochodziło do bardzo wysokiej emisji drobnoustrojów i poważnego zagrożenia zdrowia pracowników w trakcie rozładunku, ugniatania odpadów i ich zasypywania. Silnie mikrobiologicznie zanieczyszczone powietrze utrzymywało się w sezonie wiosennym i letnim, natomiast jesienią i zimą stężenie bioaerozolu zdecydowanie zmalało. Najwyższe liczebności jakie uzyskano w sektorze czynnym wynosiły: dla bakterii ogółem – $5,4 \cdot 10^4$ jtk·m⁻³, *P. fluorescens* – $6,7 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³, *E. coli* – $1,3 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³, paciorkowców kałowych – $28 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³. Z kolei pewnym zaskoczeniem było niskie stężenie zarodników grzybów pleśniowych i drożdży. Uzyskane wartości nie przekroczyły $38 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³, co pozwoliło zaklasyfikować powietrze w tym miejscu jako przeciętnie czyste we wszystkich porach roku. O ile poziom stężenia emitowanego aerozolu grzybowego był relatywnie niski, to oznaczone w nim gatunki: *Aspergillus fumigatus*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum* i inne o potencjalnych właściwościach alergizujących i toksynotwórczych stanowiły realne zagrożenie chorobowe dla osób narażonych na kontakt z nimi. Szczególną uwagę zwrócono na wyniki stężenia bioaerozolu uzyskane w punkcie oddalonym 200 m poza granicą obiektu (na terenie najbliższego osiedla mieszkaniowego). W całym okresie badań od kwietnia do grudnia liczebność bakterii mezofilnych nie przekroczyła wartości $10,9 \cdot 10^2$ jtk·m⁻³, *P. fluorescens* – 18 jtk·m⁻³, *Salmonella* spp. – 8 jtk·m⁻³ oraz *E. coli* i paciorkowców kałowych nie więcej niż 6 jtk·m⁻³. Wskazuje to, że badane powietrze nie stwarzało zagrożenia mikrobiologicznego dla środowiska w otoczeniu

obiektu niezależnie od pory roku i panujących warunków pogodowych. Należy dodać, że próbki powietrza poza obiektem były zawsze pobierane w punkcie wyznaczonym w linii wiatru (po stronie zawietrznej zakładu). Mimo, że na terenie Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych stwierdzono emisję wysokich stężeń bioaerozolu, to nie dochodziło do jego przenoszenia na tereny oddalone o 200 m. Rozprzestrzenianie się bioaerozolu z zakładu mogło być ograniczone na okoliczne tereny za sprawą wydzielonej strefy buforowej jaką stanowił wał ochronny oraz szeroki pas zadrzewień. Tego typu rozwiązania zabezpieczają i skutecznie minimalizują transmisję mikroorganizmów poza zakład.

W doniesieniach literaturowych autorzy zajmujący się problematyką rozprzestrzeniania się bioaerozolu w powietrzu zewnętrznym wskazują, że pora roku i warunki mikroklimatyczne mają decydujący wpływ na przenoszenie mikroorganizmów w atmosferze oraz zasięg ich oddziaływania na środowisko przyrodnicze (Gotkowska-Płachta i in. 2013, Pankhurst i in. 2011; Schlosser i in. 2016). Do najważniejszych parametrów wpływających na liczebność mikroorganizmów w powietrzu należą: temperatura, wilgotność, kierunek i siła wiatru. **Wyniki badań opisane w pracach 1-5 potwierdzają**, że do emisji największych ilości aerozolu bakteryjnego dochodziło najczęściej w okresie wiosenno-letnim (maj – sierpień), natomiast aerozolu grzybowego w okresie wczesnojesiennym.

Poważne zagrożenie dla funkcjonowania środowiska naturalnego stanowią również niekontrolowane składowiska odpadów. O ile zorganizowane składowiska odpadów komunalnych są odpowiednio przygotowane pod względem technicznym i zabezpieczone zwłaszcza od podłoża systemami hydroizolacyjnymi, o tyle nielegalne miejsca deponowania odpadów zwane powszechnie „dzikimi wysypiskami” stanowią niebezpieczeństwo wystąpienia odcieków substancji toksycznych do gleb. „Wysypiska” te stwarzają realne zagrożenie zanieczyszczenia mikrobiologicznego oraz metalami ciężkimi gleb, wód powierzchniowych i gruntowych, a w mniejszym stopniu powietrza, ponieważ są to punktowe niewielkie obszarowo miejsca porzucanych przez lokalną społeczność odpadów. Badania właściwości środowiska glebowego w otoczeniu niekontrolowanych składowisk mają najczęściej charakter badań monitoringowych. Dlatego też podjęto kompleksowe badania w oparciu o parametry mikrobiologiczne, biochemiczne, fizyczne i chemiczne pozwalające ocenić negatywne oddziaływania niekontrolowanych składowisk. Wyniki badań zaprezentowano w dwóch publikacjach wchodzących w skład cyklu osiągnięcia naukowego.

W pracach nr 6 i 7 zaprezentowano wynik analiz mikrobiologicznych obejmujących kształtowanie się struktur populacyjnych drobnoustrojów i aktywność enzymów oksydoredukcyjnych na tle wybranych właściwości fizykochemicznych gleb spod nielegalnych

składowisk. Obszar badawczy stanowiły trzy składowiska różniące się składem morfologicznym odpadów, zgromadzone na terenie leśnym i śródpolnym na obrzeżach miasta Bydgoszczy. W pierwszym z nich (W1) znajdowały się odpady mieszane z przewarżającą ilością gruzu budowlanego i ceramicznego, a także elementy metalowe, szkło, tworzywa sztuczne, materiały tekstylne. Na drugim składowisku (W2) zdeponowany był sprzęt elektrotechniczny, opony samochodowe, metalowe pojemniki z farbą, żarówki i tekstylia, natomiast trzecie składowisko (W3) zawierało głównie odpady pochodzenia organicznego takie jak: trawa, liście z pielęgnacji ogrodów oraz zepsutą żywność i inne odpady z gospodarstw domowych. Odniesieniem (punktem kontrolnym) były próbki glebowe pobrane również na terenie leśnym w odległości ok. 200 m od wytypowanych składowisk i poza strefą ich oddziaływania. W pracy nr 6 zaprezentowano także wyniki badań gleby użytkowanej rolniczo w odległości 30 m od składowiska (W3).

Na podstawie przeprowadzonych badań w pracy **nr 6** stwierdzono, że skład zdeponowanych odpadów w istotny sposób wpłynął na liczebność drobnoustrojów, a w efekcie na zachwianie równowagi mikrobiologicznej. Statystycznie istotnie najwyższą liczebność drobnoustrojów amyloolitycznych ($87 \cdot 10^5$ jtk \cdot g $^{-1}$ s.m. gleby), celuloolitycznych ($46,4 \cdot 10^5$ jtk \cdot g $^{-1}$), proteolitycznych ($148,6 \cdot 10^5$ jtk \cdot g $^{-1}$) oraz ogólnej populacji bakterii ($123,2 \cdot 10^5$ jtk \cdot g $^{-1}$) uzyskano w poziomie powierzchniowym gleby leśnej, gdzie wyznaczony był punkt kontrolny (C). Zdecydowanie najniższe ilości tych grup drobnoustrojów uzyskano w glebie spod składowiska W1 i W2. Mniejsze różnice liczebności badanych mikroorganizmów stwierdzono między kontrolą (C), a próbkami glebowymi spod składowiska z odpadami organicznymi (W3) i pola uprawnego. Analiza statystyczna wyników potwierdziła także istotnie więcej drobnoustrojów wyizolowanych z poziomu powierzchniowego gleb niż z głębokości 20-40 cm, niezależnie od stanowiska pomiarowego.

Badania określające liczebność drobnoustrojów proteolitycznych, celuloolitycznych i amyloolitycznych wnoszą wiele cennych informacji o stanie środowiska glebowego. Poziom liczebności grup fizjologicznych mikroorganizmów świadczy o intensywności rozkładu w glebie białka, celulozy i skrobi. Zmniejszająca się ilość tych grup bakterii w glebie może być wskaźnikiem działania różnych inhibitorów (Schloter i in. 2003), co dało się zauważyć w powierzchniowych poziomach gleby składowisk W1 i W2. Odmiennie zależności zaobserwowano w występowaniu promieniowców, albowiem statystycznie istotnie wyższą ich liczebność odnotowano w glebie spod składowiska z dominującą frakcją organiczną - W3 ($235,5 \cdot 10^4$ jtk \cdot g $^{-1}$ s.m. gleby), zaś najniższą w punkcie kontrolnym ($1,8 \cdot 10^4$ jtk \cdot g $^{-1}$ s.m. gleby). Wykazano, że rozwój promieniowców najbardziej stymulowały warunki panujące w glebie

w obrębie składowiska W3, w której stwierdzono również najwyższe wartości pH oraz zawartość węgla organicznego (C_{org}). Wzmoczony rozwój promieniowców oraz relatywnie niewielka ilość grzybów oznaczona w glebie spod składowiska W3 wskazuje, że dla tych pierwszych były to warunki sprzyjające. Promieniowce w porównaniu z innymi mikroorganizmami mogą syntetyzować znacznie więcej enzymów rozkładających trudno biodegradowalne związki, np. chityny, ligniny, celulozy, węglowodory, sterydy oraz kwasy huminowe – wykorzystując je jako źródło węgla (Romani i in. 2006). Pod wpływem oddziaływania substancji toksycznych obecnych w składowanych odpadach modyfikacji ulegać może skład jakościowy mikrobicenozy. Niejednokrotnie następuje recesja wielu rodzajów bakterii z grupy mikroflory autochtonicznej gleb, a zaczynają dominować inne gatunki, w tym grzyby *Deuteromycetes* (Romaní i in. 2006). Badania wykazały, że najwięcej grzybów strzępkowych występowało w glebie spod składowiska W2 ($31,6 \cdot 10^4$ jtk \cdot g $^{-1}$ s.m. gleby). We wszystkich pozostałych punktach ich liczebność była istotnie niższa i nie przekroczyła $15,0 \cdot 10^4$ jtk \cdot g $^{-1}$ s.m. gleby. Również wyniki analizy biochemicznej wskazują na istotny wpływ nielegalnie zdeponowanych odpadów na aktywność enzymatyczną gleby. Największą aktywność zarówno dehydrogenaz, jak i katalazy stwierdzono w powierzchniowym poziomie gleby spod składowiska W3 (odpowiednio $8,268$ mg TPF \cdot kg $^{-1}$ gleby 24 h $^{-1}$ i $89,57$ mM H $_2$ O $_2$ \cdot kg $^{-1}$ gleby min $^{-1}$). Natomiast najniższą aktywność enzymów oksydoredukcyjnych, uzyskano w glebie pobranej spod składowiska W1 oraz punktu C. Wartości współczynnika zmienności wskazują na bardzo duże zróżnicowanie aktywności dehydrogenaz i katalazy, odpowiednio CV=158% i CV=72,6%.

Z kolei na podstawie wyników analizy chemicznej stwierdzono, że materiał glebowy spod składowiska W3 charakteryzował się wyższą zawartością węgla organicznego ($26,5$ g \cdot kg $^{-1}$) w poziomie 0-20 cm, w porównaniu do gleby pobranej z pola uprawnego ($10,48$ g \cdot kg $^{-1}$). Również całkowita zawartość pierwiastków śladowych w glebie spod składowiska W3 (Pb $21,44$ mg \cdot kg $^{-1}$; Ni $13,97$ mg \cdot kg $^{-1}$; Cd $0,76$ mg \cdot kg $^{-1}$), była istotnie wyższa od zawartości stwierdzonych w pozostałych punktów pomiarowych. W świetle Rozporządzenia Ministra Środowiska (2002 i 2016) zawartości metali ciężkich w badanych glebach były typowe dla terenów niezanieczyszczonych. Natomiast według zawartości granicznych zaproponowanych przez Kabatę-Pendias i in. (1993) materiał glebowy pobrany w obrębie składowiska W3 należy zaliczyć do gleb o podwyższonej zawartości Cd (I $^\circ$ zanieczyszczenia).

W oparciu o przeprowadzoną analizę statystyczną wykazano istotnie dodatnią korelację pomiędzy wybranymi parametrami mikrobiologicznymi, biochemicznymi a chemicznymi, w tym metalami ciężkimi. Istotne wartości współczynnika korelacji stwierdzono pomiędzy

zawartością C_{org} , a liczebnością bakterii ogółem ($r=0,727$; $p<0,05$), drobnoustrojami amylolitycznymi ($r=0,790$; $p<0,05$), celulolitycznymi ($r=0,765$; $p<0,05$) oraz proteolitycznymi ($r=0,805$; $p<0,05$). Z kolei występowanie promieniowców było wysoce zależne od pH gleby ($r=0,691$; $p<0,05$). **Na uwagę zasługują otrzymane istotnie dodatnie zależności pomiędzy poziomem liczebności promieniowców a badanymi metalami ciężkimi:** Ni ($r=0,947$; $p<0,05$), Pb ($r=0,861$; $p<0,05$), Cd ($r=0,912$; $p<0,05$). Mimo wzrostu zanieczyszczenia metalami ciężkimi gleby pod składowiskiem W3 stwierdzono w niej najwyższy poziom populacji promieniowców, natomiast obniżył się stosunek liczebności bakterii do promieniowców. Z danych piśmiennictwa wynika, że promieniowce mogą wykształcić odpowiednie mechanizmy oporności na działanie metali ciężkich (Lin i in. 2011). Wyszowska i in. (2010) wykazali, że wysoka koncentracja niklu powodowała ponad dwukrotny wzrost liczebności promieniowców, a jednocześnie pierwiastek ten silnie hamował rozwój bakterii z rodzaju *Azotobacter*. Bardzo wrażliwe na zanieczyszczenia metalami ciężkimi są enzymy oksydoredukcyjne, a ich aktywność wykorzystuje się jako wskaźniki degradacji środowiska glebowego. W oparciu o wykonaną analizę korelacji stwierdzono zależność praktycznie pełną pomiędzy aktywnością dehydrogenaz glebowych a zawartością Pb ($r=0,829$; $p<0,05$), Ni ($r=0,908$; $p<0,05$) oraz Cd ($r=0,917$; $p<0,05$). Zbliżone i równie wysokie współczynniki korelacji otrzymano również między katalazą a badanymi pierwiastkami śladowymi, których koncentracja nie spowodowała stresu oksydacyjnego.

Podsumowując uzyskane wyniki w pracy nr 6 należy stwierdzić, że niekontrolowane składowiska odpadów determinowały zmiany w składzie mikrobiologicznym gleby. Na wszystkie badane grupy drobnoustrojów najbardziej niekorzystnie oddziaływały odpady zdeponowane na składowisku W1. W tym miejscu wyizolowano istotnie najniższą liczebność mikroorganizmów z warstwy powierzchniowej i podpowierzchniowej gleby w stosunku do pozostałych stanowisk badawczych, co potwierdzono obliczeniami statystycznymi. Zgromadzone odpady, a zwłaszcza zawarte w nich substancje toksyczne w wyniku migracji w głąb profilu glebowego przyczyniły się do spowolnienia tempa procesów biologicznych oraz niekorzystnych zmian w składzie mikroflory glebowej. Znaczące nasilenie zachodzących procesów zaobserwowano w glebie na terenie składowiska W3, gdzie odnotowano najwyższe wartości dla parametrów fizykochemicznych, liczebności promieniowców, a także aktywności enzymatycznej. Z pewnością na taką sytuację miał wpływ skład morfologiczny dominujących biodegradowalnych odpadów pochodzenia organicznego z dużą ilością resztek roślinnych.

Nielegalne składowiska mogą stanowić realne zagrożenie epidemiologiczne, ze względu na możliwość występowania mikroorganizmów chorobotwórczych. Do bakterii stanowiących szczególne zagrożenie dla środowiska przyrodniczego oraz zdrowia człowieka, należą pałeczki duru brzuszego (*Salmonella* spp.), pałeczki fekalne (*Escherichia coli* i inne bakterie z grupy coli) oraz paciorkowce kałowe. Uzasadnionym było zatem przeprowadzenie oceny sanitarnej oraz stopnia skażenia gleb w miejscu nielegalnego składowania odpadów. Zwłaszcza odpady zawierające resztki pożywienia, zużyte materiały higieniczne oraz odchody zwierząt domowych są źródłem swoistego spektrum mikrobiologicznego.

Praca nr 7 stanowi kontynuację badań przedstawionych w publikacji nr 6, a zarazem dokładną analizę obserwacji czynników kształtujących zmienność jakości gleb. Zaprezentowane wyniki mikrobiologicznych wskaźników zanieczyszczenia fekalnego dotyczą poziomu powierzchniowego gleb w obrębie trzech nielegalnych składowisk, których skład opisano w pracy nr 6. Badania wykazały obecność bakterii z grupy coli w glebie pod każdym nielegalnym składowiskiem, a ich liczebność kształtowała się na poziomie 10^3 NPL g^{-1} . Jednakże gatunek *Escherichia coli* wykryto w obrębie dwóch składowisk, uzyskując największą liczebność (96 NPL g^{-1}) w miejscu zdeponowanych odpadów pochodzenia organicznego. Również w glebie spod tego składowiska zidentyfikowano bakterie z rodzaju *Salmonella*, co stwarzało realne ryzyko skażenia środowiska glebowego i rosnących tam roślin. Według danych literaturowych przeżywalność pałeczek *Salmonella* spp. w glebie waha się od 6 do kilkuset dni (Yamahara i in. 2012). W sprzyjających warunkach bakterie pochodzenia kałowego mogą namnażać się i ulegać adsorpcji na cząsteczkach gleby lub przemieszczać się w głąb profilu glebowego, a następnie do wód gruntowych, tworząc kolejne źródło potencjalnego zagrożenia (Grisey i in. 2010; Yamahara i in. 2012). Ponadto zwierzęta bytujące w lesie oraz ptactwo żerujące na „dzikich wysypiskach” są źródłem ich przenoszenia. Odchody zwierząt na terenach leśnych mogą być przyczyną punktowego skażenia gleby i runa leśnego.

Wyniki z przeprowadzonych badań wskazują, że najbardziej sprzyjające warunki do rozwoju potencjalnie patogennych bakterii *E. coli*, *Salmonella* spp. oraz paciorkowców kałowych panowały w glebie pod składowiskiem z odpadami organicznymi, natomiast nie stwierdzono ich obecności w miejscu zdeponowanego gruzu wraz z innymi odpadami. Zalegające odpady bogate w materię organiczną, zapewne przyczyniły się do ich namnożenia w porównaniu z dwoma pozostałymi wysypiskami charakteryzującymi się zupełnie inną strukturą. Należy dodać, że możliwość przetrwania bakterii pochodzenia jelitowego w glebie uzależniona jest od wielu determinantów, m.in. temperatury, odczynu, wilgotności, typu gleby oraz zawartości materii organicznej (Grisey i in. 2010; Yamahara i in. 2012).

W celu przedstawienia wzajemnych zależności badanych parametrów, interpretację wyników wykonano z użyciem odpowiednich narzędzi statystycznych, obliczając m.in.: miary zmienności (współczynnik zmienności CV% i odchylenie standardowe), współczynnik korelacji (r), współczynnik determinacji (r^2), równanie regresji, a także zastosowano analizę składowych głównych (PCA). Na podstawie przeprowadzonej analizy korelacji Pearsona wykazano istotne dodatnie zależności między zawartością węgla organicznego a liczebnością *E. coli* ($r=0,690$; $p<0,05$) i innymi pałeczkami coli ($r=0,709$; $p<0,05$). Bardzo ważnym czynnikiem abiotycznym wpływającym często inhibicyjnie na mikroorganizmy jest koncentracja metali ciężkich. Jednakże w próbkach glebowych spod składowisk nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych całkowitych zawartości Pb, Zn, Cu oraz Ni, co zarazem świadczy o ich naturalnej akumulacji w badanej glebie. Panujące w glebie warunki nie zwiększyły mobilności pierwiastków śladowych, a tym samym ich toksyczności. Potwierdzeniem takich zależności były istotnie dodatnie korelacje pomiędzy liczebnością *E. coli*, a całkowitą zawartością Ni ($r=0,936$; $p<0,05$) i Pb ($r=0,819$; $p<0,05$) oraz innymi pałeczkami coli, odpowiednio ($r=0,770$) i ($r=0,750$). W oparciu o wartości współczynnika determinacji r^2 stwierdzono, że obecność w glebie węgla organicznego wpłynęła w 50,2% na liczebność *E. coli* oraz w 47,5% na inne bakterie z grupy coli. Z równania regresji liniowej wynika, że wraz ze wzrostem zawartości węgla organicznego w glebie o $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ liczebność *E. coli* wzrosła o $2,355 \text{ NPL g}^{-1}$ natomiast innych pałeczek coli o $57,790 \text{ NPL g}^{-1}$.

W celu określenia siły i ukierunkowania zależności między mikrobiologicznymi wskaźnikami sanitarnymi, a badanymi fizykochemicznymi i biochemicznymi parametrami glebowymi oraz zmiennymi środowiskowymi, zastosowano metodę wieloczynnikowej analizy składowych głównych – PCA. Na podstawie przeprowadzonej analizy zostały wyodrębnione z dostępnego zbioru danych dwie składowe ortogonalne (PC1 i PC2), które łącznie wyjaśniają 65,04% ogólnej wariancji. Ze uwagi na fakt, że uzyskane wyniki badań właściwości mikrobiologicznych, enzymatycznych i chemicznych gleby były wyrażone w różnych jednostkach to składowe główne obliczono z wykorzystaniem macierzy korelacji. Składowa PC1 odpowiadała za 52,34% wszystkich zmiennych elementarnych i wskazuje na istotną ujemną korelację z *Escherichia coli* ($-0,836$) i innymi pałeczkami coli ($-0,768$). Bakterie te są jednymi z indykatorów stanu sanitarnego gleb i mogą odzwierciedlać zanieczyszczenia antropogeniczne spowodowane nielegalnym składowaniem odpadów na badanym obszarze.

Do najważniejszych wniosków uzyskanych w pracy nr 7 należy stwierdzenie wystąpienia ryzyka zagrożenia sanitarno-epidemiologicznego na terenie leśnym w miejscu nielegalnego składowania odpadów. Ocena stanu sanitarnego gleby za pomocą

mikrobiologicznych wskaźników wykazała, że do największego zanieczyszczenia dochodziło na terenie zdeponowanych odpadów pochodzenia organicznego, gdzie poza pałeczkami coli i paciorkowcami kałowymi zidentyfikowano bakterie z rodzaju *Salmonella*. Obecne bakterie wskaźnikowe zanieczyszczenia fekalnego mogą również wraz z odciekami poprzez makro- i mikropory glebowe dostać się do wód gruntowych, stanowiąc poważne zagrożenie dla biobezpieczeństwa środowiska i zdrowia ludzi oraz zwierząt. Istotnym osiągnięciem było również wykazanie wzajemnych współzależności i wpływu wielu parametrów mikrobiologicznych, biochemicznych i fizykochemicznych opisujących zachodzące zjawiska transformacji w glebie pod zdeponowanymi odpadami.

III.3.3. Podsumowanie i wykorzystanie wyników prac dokumentujących osiągnięcie naukowe

Zgromadzone wyniki z wieloletnich badań nad oddziaływaniem obiektów gospodarki komunalnej na jakość mikrobiologiczną powietrza pozwoliły wyłonić zakłady o największej emisji zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Spośród badanych zakładów najbardziej zanieczyszczone mikrobiologicznie powietrze występowało na terenie składowisk odpadów komunalnych. Można przyjąć, że tego typu obiekty, niezależnie od metody składowania odpadów i rodzaju technologii postępowania z nimi, przyczyniają się do pogorszenia stanu sanitarnego powietrza atmosferycznego. W przeprowadzonych badaniach najwyższe stężenia bioaerozolu stwierdzano w czynnym sektorze składowisk oraz sortowni odpadów. Pewną specyfiką, pod względem emitowanego bioaerozolu, charakteryzowały się miejsca przetwarzania i składowania kompostu. Kompostownie te były emitorami największych ilości promieniowców. Ważnym czynnikiem wpływającym na poziom liczebności drobnoustrojów w powietrzu była zmienność sezonowa. Oznacza to, że w prognozowaniu skutków środowiskowych, a także zdrowotnych wywołanych szkodliwym działaniem aerozoli biologicznych należy opierać się na danych z pomiarów zebranych we wszystkich porach roku uwzględniających różne warunki meteorologiczne. Zdecydowanie największy wpływ na zasięg rozprzestrzeniania się bioaerozoli od źródła ich emisji na okoliczne tereny miał kierunek wiatru.

Skład aerozolu bakteryjnego i grzybowego wskazuje na ryzyko zagrożenia środowiska przyrodniczego oraz stanowi potencjalne zagrożenie dla zdrowia zarówno pracowników zakładów gospodarki odpadami, jak i okolicznych mieszkańców. Występujące w badanym powietrzu potencjalnie chorobotwórcze bakterie oraz grzyby o właściwościach alergizujących i mykotoksynotwórczych, a zwłaszcza wykryty gatunek *Aspergillus fumigatus* mogą stwarzać

poważne niebezpieczeństwo dla zdrowia osób narażonych na bezpośredni z nimi kontakt. Duże ryzyko zagrożenia ze względu na liczne występowanie i zdolności długotrwałego przeżywania w powietrzu stanowiły gronkowce. Szczególne niebezpieczne mogą być gronkowce antybiotykooporne, których występowanie w powietrzu atmosferycznym potwierdziły niniejsze badania.

Obecność bakterii kałowych z rodziny *Enterobacteriaceae* (*E. coli*, *Salmonella* spp.) i rodzaju *Enterococcus* w powietrzu odzwierciedla źródło zanieczyszczenia bioaerozolu pochodzące ze ścieków i odpadów. Bakterie te okazały się w przeprowadzonych badaniach ważnym indykatorem w monitorowaniu stanu higienicznego powietrza w oczyszczalniach ścieków i na składowiskach odpadów komunalnych oraz w zasięgu ich oddziaływania na sąsiadujące tereny.

Przedstawione w pracach 1-5 parametry mikrobiologiczne mogą stanowić pomocne narzędzie w przeprowadzaniu oceny stopnia narażenia na szkodliwe czynniki biologiczne (SCB) w środowisku pracy zakładów gospodarki komunalnej. Uzyskane wyniki mogą być też wykorzystane w tworzeniu bazy danych przydatnej do wypracowania i ustalania progów dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń mikrobiologicznych emitowanych do środowiska w sektorze gospodarki komunalnej, w ramach tworzonych normatywów.

Opublikowane wyniki są wymiernym efektem badań naukowych, ale mają także bardzo ważny walor aplikacyjny. Dowiedziono, że technologie wprowadzone przez oczyszczalnie ścieków opisane w pracach 1-3 wpłynęły na ograniczenie emisji szkodliwego bioaerozolu. Rezultaty badań mają również wymiar społeczny, bowiem najczęściej negatywne nastawienie i zakorzeniony sprzeciw lokalnej społeczności do nowo powstających zakładów staje się bezzasadny. Zarówno nowo projektowane jak i modernizowane oczyszczalnie ścieków w celu uniknięcia tego typu zachowań i problemów z lokalizacją powinny prowadzić szeroko zakrojoną kampanię informacyjną wykorzystując wyniki prezentowanych publikacji naukowych.

Wyniki badań przedstawione w pracach 6 i 7 wnoszą nowe wartości poznawcze na temat oddziaływania nielegalnych składowisk na środowisko glebowe. Określenie parametrów mikrobiologicznych na tle właściwości fizykochemicznych gleb dostarczyło ważnych informacji o realnym zagrożeniu i kierunku zachodzących procesów. Zdeponowane odpady, różniące się składem morfologicznym, działały inhibicyjnie na rozwój większości badanych bakterii glebowych, a w konsekwencji spowodowały spadek ich liczebności i aktywności enzymatycznej, co przyczyniło się do naruszenia homeostazy środowiska glebowego. Ważnym osiągnięciem było również wykazanie zagrożenia sanitarno-epidemiologicznego, które

ujawniono zwłaszcza w przypadku porzuconych odpadów z dominującą frakcją organiczną. Obecność bakterii wskaźnikowych zanieczyszczenia fekalnego, wskazuje na realne ryzyko skażenia i pogorszenia biobezpieczeństwa środowiska.

II.3.4. Piśmiennictwo

- Abdel Hameed A.A., Habeebuallah T., Mashat B., Elgendy S., Elmorsy T.H., i in. 2015. Airborne fungal pollution at waste application facilities. *Aerobiologia* 31(3), 283-293.
- Augustyńska D., Pośniak M. (red.) 2016. Czynniki szkodliwe w środowisku pracy: wartości dopuszczalne 2016. Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Dz.U. 2013 poz. 21. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach.
- Dz. U. 2016 poz. 250. Obwieszczenie Marszałka Sejmu RP z dnia 3 lutego 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach.
- Gotkowska-Płachta A., Filipkowska Z., Korzeniewska E., Janczukowicz W., i in. 2013. Airborne microorganisms emitted from wastewater treatment plant treating domestic wastewater and meat processing industry wastes. *Clean-Soil Air Water* 41(5), 429-436.
- Górny R. 2010. Aerozole biologiczne – rola normatywów higienicznych w ochronie środowiska i zdrowia. *Med. Środow.* 13(1), 41–51.
- Grisey E., Belle E., Dat J., Mudry J., Aleya L. 2010. Survival of pathogenic and indicator organisms in groundwater and landfill leachate through coupling bacterial enumeration with tracer tests. *Desalination* 261(1–2), 162–168.
- Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T. 1993. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG, Puławy, seria P (53), 1-20.
- Kaźmierczuk M., Bojanowicz-Bablok A. 2014. Bioaerosol concentration in the air surrounding municipal solid waste landfill. *Ochr. Środow. Zasobów Natural.* 25(2), 17–25.
- Kim K.H., Jahan S.A., Kabir E. 2013. A review on human health perspective of air pollution with respect to allergies and asthma. *Environ. Int.* 59, 41–52.
- Korzeniewska E. 2011. Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants - a review. *Front. Biosci. (Schol Ed.)* 3, 393-407.
- Li J., Zhou L., Zhang X., Xu C., Dong L., Yao M. 2015. Bioaerosol emission and detection of airborne antibiotic resistance genes from a wastewater treatment plant. *Atmos. Environ.* 124, 404-412.
- Lin Y., Hao X., Johnstone L., Miller S. J., Balthus D. A., i in. 2011. Draft genome of *Streptomyces zinciresistens* K42, a novel metal-resistant species isolated from copper-zinc mine tailings. *J. Bacteriol.* 193, 6408–6409.
- Nowakowicz-Dębek B., Wlazło Ł., Kasela M., Ossowski M. 2016. Epidemiologia wielolekoopornych szczepów *Staphylococcus aureus*. *Probl. Hig. Epidemiol.* 97(2), 106-112.
- O’Gorman C.M. 2012. Airborne *Aspergillus fumigatus* conidia: a risk factor for aspergillosis. *Fungal. Biol. Rev.* 25, 151-157.
- Pankhurst, L.J., Deacon L.J., Liu J., Drew G.H., i in. 2011. Spatial variations in airborne microorganism and endotoxin concentrations at green waste composting facilities. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 214(5), 376-383.

- Park D.U., Ryu S.H., Kim S.B., Yoon Ch.S. 2011. An assessment of dust, endotoxin, and microorganism exposure during waste collection and sorting. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 61, 461-468.
- Pearson C., Littlewood E., Douglas P., Robertson S., Gant T.W., i in. 2015. Exposures and health outcomes in relation to bioaerosol emissions from composting facilities: A systematic review of occupational and community studies. *J. Toxicol. Environ. Health Part B*, 18(1), 43-69.
- Polska Norma. PN-89/Z-04111/02, 1989. Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym (imisja) przypobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Polska Norma PN-89/Z-04111/03 1989. Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Romaní A.M., Fischer H., Mille-Lindblom C., Tranvik L.J. 2006. Interactions of bacteria and fungi on decomposing litter: Differential extracellular enzyme activities. *Ecology* 87(10), 2559-2569.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. 2002 nr 165 poz. 1359.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi. Dz. U. 2016 poz. 1395.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 22 kwietnia 2005 r. w sprawie szkodliwych czynników biologicznych dla zdrowia w środowisku pracy oraz ochrony zdrowia pracowników zawodowo narażonych na te czynniki. Dz.U. 2005 nr 81 poz. 716 z późn. zm.: Dz.U. 2008 nr 48 poz. 288.
- Schlosser S., Robert C., Debeaupius C. 2016. *Aspergillus fumigatus* and mesophilic moulds in air in the surrounding environment downwind of non-hazardous waste landfill sites. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 219(3), 239–251.
- Schloter M., Dilly O., Munch J.C. 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agr. Ecosyst. Environ.* 98, 255–262.
- Tosas Auguet O., Betley J.R., Stabler R.A., Patel A., i in. 2016. Evidence for community transmission of community-associated but not health-care-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* strains linked to social and material deprivation: spatial analysis of cross-sectional data. *PLoS Med.* 13, 1–24.
- Wyszkowska J., Kucharski J., Borowik A. 2010. Response of microorganisms to soil contamination with cadmium, nickel and lead. *Ecol. Chem. Eng. A* 17(10), 1323-1330.
- Vilavert L., Nadal M., Figueras M.J., Domingo J.L. 2012. Volatile organic compounds and bioaerosols in the vicinity of a municipal waste organic fraction treatment plant. Human health risks. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 19, 96-104.
- Yamahara K.M., Sassoubre L.M., Goodwin K., Boehm A. 2012. Occurrence and persistence of bacterial pathogens and indicator organisms in beach sand along the California Coast. *Appl. Environ. Microbiol.* 78, 1733–1745.

III. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Główne kierunki mojej dotychczasowej pracy naukowo-badawczej można ująć w następujące obszary tematyczne:

1. Wpływ czynników agrotechnicznych na skład mikrobiologiczny gleby.
2. Właściwości antagonistyczne i enzymatyczne promieniowców z rodzaju *Streptomyces* izolowanych z gleb użytkowanych rolniczo.
3. Rozpoznanie oddziaływań między mikroorganizmami oraz ocena skuteczności wybranych preparatów mikrobiologicznych i chemicznych.
4. Mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza na terenie zakładów gospodarki komunalnej i przemysłu rolno-spożywczego.

Ad 1. W ramach pierwszego obszaru badawczego wyniki badań opublikowane zostały w 15 oryginalnych pracach naukowych oraz zaprezentowane na 9 konferencjach krajowych i zagranicznych. Badanie uwarunkowań kształtowania się składu mikroorganizmów glebowych oraz ich sukcesywnych zmian w czasie, pod wpływem różnych czynników (abiotycznych i biotycznych), ma niebagatelne znaczenie dla poznania mechanizmów funkcjonowania agroekosystemów. W pracach nr 1.5 i 1.6 [zał. 3.II] przedstawiono wyniki badań dotyczące wpływu systemu zmianowania (6-polowe, 3-polowe) i monokultury na liczebność oraz dynamikę rozwoju drobnoustrojów w glebie i ryzosferze grochu pastewnego. Wykazano, że uprawa grochu w monokulturze silnie ograniczała rozwój bakterii potencjalnie antagonistycznych. Liczebność fluoryzujących *Pseudomonas* spp. w monokulturze była aż 8-krotnie mniejsza niż w zmianowaniu 6-polowym, a w przypadku bakterii *Arthrobacter* 5-6-krotnie niższa. Z kolei system uprawy w monokulturze sprzyjał rozwojowi grzybów strzępkowych, w tym patogenicznych dla roślin *Fusarium* spp. i *Pythium* spp. Ogólna populacja grzybów w monokulturze była do 50% wyższa niż w obu zmianowaniach, a z rodzaju *Fusarium* do 34%. Stwierdzono, że wieloletnia uprawa tych samych roślin po sobie wpływa na zachwianie równowagi biologicznej gleby, stwarzając dogodne warunki do rozwoju potencjalnie chorobotwórczych grzybów. Spowodowało to także spadek liczebności bakterii i promieniowców. Stan fitosanitarny badanych gleb ulegał pogorszeniu wraz z uproszczeniem zmianowania.

Ważnym elementem mojej pracy naukowej z tego obszaru badawczego było rozpoznanie kształtowania się grup mikroorganizmów i ich aktywności enzymatycznej w glebach uprawianych system ekologicznym. Preferowany obecnie kierunek rolnictwa ekologicznego mając w swoich założeniach ochronę środowiska rolniczej przestrzeni

produkcyjnej wyklucza stosowanie nawozów mineralnych i chemicznych środków ochrony roślin. Podjęte badania miały na celu porównanie składu mikrobiologicznego gleb w systemie uprawy ekologicznej i konwencjonalnej. Materiał do badań stanowiły próbki gleb oraz korzenie ziemniaka pochodzące z ekologicznego i konwencjonalnego systemu produkcji. W uprawie ekologicznej stosowano wyłącznie nawożenie organiczne (kompost + torf) i biologiczne metody ochrony roślin (preparat Novodor), natomiast w systemie konwencjonalnym wykorzystano nawozy mineralne NPK + obornik oraz chemiczne środki ochrony roślin (fungicydy Sandofan Manco 64 WP i Curzate M 72,5 WP) i preparat Bancol. Uzyskane wyniki pozwoliły określić kształtowanie się liczebności i dynamikę zmian rozwoju następujących grup drobnoustrojów: bakterii ogółem, grzybów, promieniowców, bakterii z rodzaju *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Corynebacterium*, a także drobnoustrojów amylolytycznych, celulozytycznych, pektynolitycznych oraz proteolitycznych. Efektem tych kilkuletnich badań było wydanie 10 artykułów naukowych [zał. 3.II: 1.9; 2.16-18; 2.21; 2.24; 2.26-27; 2.40-41] oraz 7 doniesień prezentowanych na konferencjach międzynarodowych [zał. 3.IV: A.4; A.5; A.7; A.8] i krajowych [B.4; B.6; B.9]. Dowiedziono, że korzystniejsze warunki dla rozwoju większości drobnoustrojów występowały w uprawie ekologicznej, co znalazło swoje odbicie we wzroście liczebności badanych zespołów bakterii. Największy udział spośród izolowanych bakterii zarówno z gleby pozaryzosferowej, ryzosfery, jak i ryzoplany stanowiły bakterie z grupy coryneform, Zdecydowanie najwięcej odnotowano ich na korzeniach ziemniaka uprawianego systemem ekologicznym (10^8 jtk·g⁻¹ św. masy korzeni). Na podstawie wyników badań (trzyletnie doświadczenie polowe) stwierdzono statystycznie istotnie wyższą liczebność bakterii *Pseudomonas* (podgrupa fluoryzujące) i *Arthrobacter* spp. w glebie ryzosferowej i ryzoplane ziemniaka uprawianego ekologicznie [prace nr 1.9; 2.16; 2.18; 2.21; 2.24]. Liczne występowanie bakterii z rodzaju *Pseudomonas* i *Arthrobacter* znanych z właściwości antagonistycznych w stosunku do patogenów roślin jest bardzo pożądane w glebach uprawnych. W aspekcie fitosanitarnym uważa się ich obecność za miernik korzystnych zmian zachodzących w glebie. Rezultaty badań dotyczące występowania drobnoustrojów hydrolizujących związki celulozy, skrobi, pektyn oraz białka przedstawiono w czterech kolejnych publikacjach naukowych [zał. 3.II: 2.26-27; 2.40-41]. Istotne różnice w liczebności mikroorganizmów celulozytycznych, amylolytycznych i proteolitycznych między porównywanymi systemami uprawy uwidoczniły się najbardziej w ryzosferze i ryzoplane pod koniec wegetacji roślin, gdzie stwierdzono nawet 5-krotnie większe ich ilości w uprawie ekologicznej niż konwencjonalnej. Liczebność mikroorganizmów hydrolizujących pektyny przez liazy pektynowe była również większa w uprawie ekologicznej. Z kolei drobnoustrojów

wydzielających enzymy z grupy poligalakturonaz nieznacznie więcej wykryto w glebie użytkowanej konwencjonalnie. Ważnym aspektem badań z tego zakresu były również wyniki z analiz mykologicznych, które przedstawiono w pracy **nr 2.17**. Do jednych z bardziej uciążliwych fitopatogenów ze względu na polifagiczny charakter i możliwość przeżywania w glebie na resztkach organicznych należą grzyby z rodzaju *Fusarium* i *Pythium*. W glebie zarówno pozaryzosferowej, jak i ryzosferowej ziemniaka nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w liczebności badanych grzybów między porównywanymi systemami uprawy. Natomiast na korzeniach ziemniaka pod koniec wegetacji w uprawie konwencjonalnej odnotowano statystycznie istotnie wyższą liczebność grzybów *Fusarium* spp. i *Pythium* spp. Badania te dowodzą, że mimo wyeliminowania fungicydów w uprawie ekologicznej ziemniaka, nie wpłynęło to istotnie na wzrost liczebności patogennych grzybów. Zjawisko to należy tłumaczyć oddziaływaniem zwiększonej w tym czasie liczby antagonistycznych bakterii i promieniowców, którym sprzyjał ekologiczny system uprawy.

W opisywany obszar tematyczny wpisują się także badania, które prowadziłam w ramach projektu MNiSW PB 0834/B/P01/2009/36 pt. „Efektywność produkcyjno-środowiskowa proekologicznych zabiegów agrotechnicznych w monokulturowych uprawach pszenicy ozimej i rzepaku ozimego”, realizowanego przez Katedrę Podstaw Produkcji Roślinnej i Doświadczalnictwa UTP w Bydgoszczy. W ścisłym wieloczynnikowym doświadczeniu polowym w latach 2009-2011 badałam wpływ sposobu zmianowania oraz zróżnicowanego nawożenia (m.in. słomy i użyźniacza glebowego) na rozwój drobnoustrojów glebowych. Wykazano, że uprawa pszenicy w uproszczonym zmianowaniu po rzepaku ozimym spowodowała zwiększenie liczby mikroorganizmów glebowych o 9,4% w stosunku do jej uprawy w monokulturze. Wprowadzenie do gleby rozdrobnionej słomy stymulowało rozwój drobnoustrojów, a ich liczebność wzrosła średnio o 46,2%. O ile w monokulturze stosowanie słomy zwiększyło liczebność mikroorganizmów blisko 2-krotnie, to w warunkach uproszczonego zmianowania zaobserwowano jedynie niepotwierdzony statystycznie wzrost ich liczebności o 10,7%. Największy efekt odnotowano po aplikacji użyźniacza glebowego na słomę i jej przyoraniu, co zwiększyło liczebność mikroorganizmów o 63,0%. Wyniki badań były prezentowane na międzynarodowej konferencji [zał. 3.IV: A.20] oraz zostały wykorzystane do opracowania rozdziału w monografii [zał. 3.II: 2.46].

Brałam również udział w badaniach nad wykorzystaniem do celów nawozowych gnojowicy i przetworzonych odpadów organicznych. Wyniki opublikowane w dwóch pracach [2.19 i 2.20] dostarczają ważnych informacji w zakresie oceny ryzyka sanitarno-epidemiologicznego wynikającego z nawożenia gnojowicą gleb uprawnych. Badania

wykazały, że po zastosowaniu gnojowicy tempo eliminacji bakterii fekalnych w glebie było zróżnicowane i zależało od gatunku bakterii, typu gleby oraz warunków atmosferycznych. Po aplikacji gnojowicy bydłowej do gleby rdzawej nastąpiła bardzo powolna inaktywacja bakterii *Salmonella* spp., a zaskakująco szybka eliminacja paciorkowców kałowych. Zaobserwowano, że większość bakterii pochodzenia fekalnego gromadziła się w poziomie powierzchniowym gleb. Podobne tendencje zaobserwowano w glebach torfowych. Wyniki przedstawione w pracy nr 2.54 dotyczą wpływu nawożenia różnymi dawkami pofermentu pochodzącego z biogazowni rolniczej na kształtowanie liczebności wybranych grup drobnoustrojów w glebie. Uzyskane rezultaty w doświadczeniu wazonowym dowodzą, że zastosowana biomasa pofermentacyjna nie wpłynęła istotnie na wzrost liczebności większości badanych mikroorganizmów tj. bakterii ogółem, grzybów strzępkowych, promieniowców oraz drobnoustrojów o właściwościach amyloolitycznych. Stwierdzono statystycznie istotnie większą liczebność tylko dla bakterii proteolitycznych i celulozolitycznych, po aplikacji do gleby najwyższej dawki pofermentu ($170 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Moje zainteresowania procesami zachodzącymi w środowisku glebowym dotyczą nie tylko przemian mikrobiologicznych, ale również właściwości fizycznych i chemicznych gleb. Pierwsze badania właściwości gleb prowadziłam w Katedrze Gleboznawstwa WRiB (obecnie pracownia Gleboznawstwa i Biochemii) realizując pracę magisterską. Dotyczyły one określenia różnych form żelaza (wolne, amorficzne, krzemianowe, krystaliczne) i ich rozmieszczenia w profilu glebowym. Ponadto oznaczono skład chemiczny masy glebowej wykorzystując metodę atomowej spektroskopii absorpcyjnej. Uzyskane wyniki zostały opublikowane w dwóch pracach w języku angielskim (przed uzyskaniem stopnia doktora) [zał. 3.II: 1.7; 1.8], a także były prezentowane na konferencji międzynarodowej [zał. 3.IV: A.3]. Do najważniejszych rezultatów badań należało wykazanie, że w poziomie iluwialnym Bt dominowało żelazo krzemianowe, a żelazo wolne występowało głównie w postaci krystalicznej.

Wieloletnia współpraca z Katedrą Gleboznawstwa i Zakładem Biochemii (obecnie Katedra Biogeochemii i Gleboznawstwa) na Wydziale Rolnictwa i Biotechnologii UTP zaowocowała 5 współautorskimi publikacjami z listy JCR [zał. 3.II: 2.10-12; 2.14-15]. Wyniki ze wspólnych badań były również prezentowane na konferencjach krajowych [B.30; B.32-33] i międzynarodowej [A.25]. Tematyka prac dotyczyła oddziaływania zróżnicowanych czynników antropogenicznych (m.in. składowania odpadów, zanieczyszczeń z ruchu drogowego) na właściwości biologiczne, fizyczne i chemiczne gleb. W latach 2007-2009 brałam udział jako wykonawca w projekcie badawczym MNiSW PB 1588/PO1/2007/32

pt. „Zmienność czasowo-przestrzenna parametrów fizykochemicznych, mikrobiologicznych i biochemicznych wybranych gleb uprawnych regionu Pomorza i Kujaw”, kierowanym przez dr hab. inż. A. Piotrowską-Długosz w Katedrze Biochemii WRiB. Materiał badawczy stanowiły próbki gleb (50 z gleby płowej i 50 z czarnej ziemi) pobrane spod uprawy pszenicy ozimej, w dwóch terminach (kwiecień i sierpień). Punkty pomiarowe wytypowano na obszarze 80 ha pola uprawnego w siatce kwadratów o boku 10 m. Na podstawie uzyskanych wyników z 2-letnich badań opublikowano pracę w *Journal of Soils and Sediments* [zał. 3.II: 2.14]. Wyniki liczebności bakterii, grzybów i promieniowców, zawartości węgla i azotu biomasy mikrobiologicznej (odpowiednio C_{MIC} i N_{MIC}) oraz wskaźniki B/F (bakterie/grzyby), C_{MIC}/N_{MIC} , BR (oddychania gleby) zostały opracowane metodami statystycznymi i geostatystycznymi. W pracy przedstawiono parametry statystyczne badanych zmiennych, takie jak: miary położenia, miary zmienności oraz miary asymetrii i koncentracji (skośność, kurtoza). W przypadku występowania bakterii ogółem i promieniowców tylko w jednym terminie, ujawniono istotną autokorelację przestrzenną (indeks Morana, $P < 0,05$). Zmienność przestrzenną badanych cech zobrazowano za pomocą sferycznych lub sferyczno-liniowych modeli semivariogramów z efektem samorodka (np. BR w kwietniu) lub bez udziału zmiennej losowej (C_{MIC} i N_{MIC} w sierpniu). Większość skorelowanych przestrzennie cech (mikrobiologicznych i biochemicznych) zaliczono do niskiej klasy zmienności - efekt samorodka $> 75\%$. Zakres autokorelacji dla badanych zmiennych wahał się od 22,0 do 50,0 m. W 2017 roku opracowałam wyniki z analiz mikrobiologicznych i przygotowałam współautorski referat wygłoszony na Światowym Kongresie Glebowym - SUITMA 9 w Moskwie [zał. 3.IV: A.23]. Prezentowane wyniki dotyczyły kształtowania się składu mikrobiologicznego w glebach przykrytych - ekranosolach obszarów zurbanizowanych, w zależności od warstwy ekranującej (betonowe płyty, asfalt, polbruk) Część wyników została opublikowana w pracy nr 2.53 [zał. 3.II].

Ad 2. W drugim obszarze tematycznym przedmiotem szczególnych moich zainteresowań badawczych z zakresu ekologii mikroorganizmów były promieniowce z rodzaju *Streptomyces*. Przed uzyskaniem stopnia doktora w pracy nr 1.3 [zał. 3.II] przedstawiłam wyniki badań właściwości antagonistycznych promieniowców z rodzaju *Streptomyces* i ich występowanie w glebie poza- i ryzosferowej oraz ryzoplacie grochu siewnego. Większość testowanych szczepów *Streptomyces* spp. wykazało silne działanie przeciwgrzybowe w stosunku do patogenicznego grzyba *Rhizoctonia solani* Kühn. Istotnym czynnikiem determinującym wielkość strefy zahamowanego wzrostu grzybni okazał się skład pożywki i jej odczyn

(testowano dwa podłoża i dwa zakresy pH). Dwuletnie badania ujawniły istotny wpływ sposobu uprawy i fazy rozwojowej rośliny na dynamikę rozwoju *Streptomyces* spp. Najwyższą ich liczebność stwierdzono w okresie kwitnienia w ryzosferze roślin uprawianych w zmianowaniu uproszczonym ($39,3 \cdot 10^5$ jtk·g⁻¹ s.m. gleby). Natomiast w 22-letniej monokulturze ich liczebność była niższa nawet o 35% w porównaniu z uprawą w zmianowaniu.

W celu podniesienia swoich kwalifikacji i umiejętności w zakresie technik hodowlanych promieniowców oraz metod ich identyfikacji odbyłam w 1999 r. dwutygodniowy staż naukowy w Katedrze Mikrobiologii Akademii Rolniczej (obecnie Uniwersytet Rolniczy) w Krakowie. Badanie wybranych cech promieniowców w kontekście wykorzystania ich do zwalczania fitopatogenów roślinnych było przedmiotem mojej rozprawy doktorskiej pt.: „Właściwości antagonistyczne promieniowców z rodzaju *Streptomyces* w stosunku do wybranych mikroorganizmów w uprawie ziemniaka”. Praca ta została wyróżniona przez dwóch recenzentów. Środki na realizację badań pozyskano m.in. z Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Toruniu. Uzyskane wyniki dotyczyły zarówno występowania promieniowców, jak i siły ich antagonistycznego działania na wzrost fitopatogenów bakteryjnych i grzybowych, takich jak: *Streptomyces scabies*, *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, *Erwinia carotovora* subsp. *artroseptica*, *E. carotovora* subsp. *carotovora*, *Rhizoctonia solani* oraz *Fusarium solani*. W badaniach wykazano, że testowane promieniowce charakteryzowały się znacznie większą aktywnością przeciwgrzybową niż przeciwbakteryjną. Z kolekcji oznaczonych przeze mnie 150 szczepów *Streptomyces* większość w bardzo silnym lub silnym stopniu hamowało rozwój *R. solani*. W stosunku do *F. solani* tylko dwa nie wykazały działania fungistatycznego, a 20 izolatów w słabym stopniu. W przypadku ograniczania wzrostu fitopatogenów bakteryjnych najwięcej antagonistycznych *Streptomyces* spp. wykryto przeciwko sprawcy parcha zwykłego ziemniaka (60% szczepów), a następnie bakteriozy pierścieniowej (52% szczepów). Najbardziej opornymi okazały się patogeniczne bakterie z rodzaju *Erwinia*, zwłaszcza *E. carotovora* subsp. *caratovora*. Na siłę inhibicyjnego działania promieniowców w warunkach *in vitro* nie wpływał odczyn podłoża. Wśród najbardziej aktywnych antagonistycznie *Streptomyces* spp. zarówno w stosunku do patogennych bakterii, jak i grzybów przeważały szczepy wyizolowane z uprawy ekologicznej ziemniaka. Również uzyskane wyniki liczebności *Streptomyces* spp. w glebie pozaryzosferowej, ryzosferze oraz ryzoplacie ziemniaka z trzech lat doświadczeń wskazują, że uprawa ekologiczna bardziej sprzyjała rozwojowi antagonistycznych promieniowców w porównaniu z systemem konwencjonalnym. Ważnym rezultatem prowadzonych badań było wykazanie, że zjawisko antagonizmu ma również negatywne znaczenie i może wykluczać

mikroorganizmy pełniące pozytywną rolę w agroekosystemach. Udowodniono u większości badanych promieniowców antagonistyczne oddziaływanie wobec pożytecznego grzyba *Trichoderma koningii*. Ponadto bardzo wrażliwymi gatunkami bakterii okazały się *Arthrobacter globiformis* (79% szczepów silnie ograniczało jego rozwój), a następnie *Azotobacter chroococcum* (74% szczepów). Jedynie opornym na działanie antybiotycznych *Streptomyces* spp. był *Pseudomonas fluorescens*, którego wzrost hamowało 50% testowanych szczepów. Efektem końcowym badań było wyselekcjonowanie grupy 9 szczepów o wysokiej aktywności antagonistycznej i szerokim spektrum działania wobec wszystkich przebadanych fitopatogenów, a słabo ograniczających wzrost pożytecznych bakterii. Wybrane szczepy *Streptomyces* wykazywały ważne cechy jakimi powinny charakteryzować się biopreparaty, których wykorzystanie ma szczególne znaczenie w rolnictwie ekologicznym, jako alternatywa dla środków chemicznych w zwalczaniu fitopatogenów ziemniaka. Wyniki niniejszych badań opublikowano w 5 czasopismach naukowych [zał. 3.II: 2.21-24; 2.50] oraz 4 doniesieniach konferencyjnych [zał. 3.IV: A.5; A.6; B.5; B.7].

Kolejnym ważnym elementem moich badań nad promieniowcami było określenie ich aktywności enzymatycznej oraz zdolności rozpuszczania fosforanu trójwapniowego, których wyniki opublikowałam w pracy nr 1.10. Promieniowce do badań wyizolowano z gleby i ryzosfery ziemniaka uprawianego w różnym zmianowaniu na poletkach doświadczalnych RZD w Bałczynach (należącego do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie). W oparciu o przeprowadzoną diagnostykę oznaczono i wybrano 40 szczepów z rodzaju *Streptomyces*. Badania wykazały u testowanych promieniowców wytwarzanie wielu enzymów egzogennych i korzystanie z różnych związków jako źródło węgla. Najwięcej szczepów wykazywało właściwości amylolityczne (97%) i proteolityczne (95%). Zdolność hydrolizy celulozy na podłożu z dodatkiem CMC-Na (0,1% solą sodową karboksymetylocelulozy) stwierdzono u 95% testowanych szczepów, zaś z celulozą sproszkowaną tylko u 52%. Ponadto badania wykazały, że wśród promieniowców pektynolitycznych więcej szczepów wydzielalo liazy pektynowe - 85% niż poligalakturonazy - 40%. Wytwarzanie chitynaz też było powszechną cechą - 75% szczepów, podobnie jak zdolność rozpuszczania $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ - 70% szczepów. Na podstawie analizy statystycznej wyników metodą k-średnich testowane promieniowce sklasyfikowano do trzech grup w zależności od aktywności enzymatycznej. W grupie I wyróżniono szczepy najbardziej aktywne pod względem wszystkich badanych cech (większość pochodziła z monokultury). Natomiast w grupie o najsłabszych właściwościach enzymatycznych przeważały szczepy wyizolowane z uprawy w zmianowaniu. Znaczącym osiągnięciem badań było potwierdzenie ważnej roli promieniowców w przemianach substancji

organicznej w glebie oraz ich konkurencji o składniki pokarmowe z innymi mikroorganizmami w uprawach monokulturowych.

Ad 3. Rozpoznanie wzajemnych relacji między drobnoustrojami stanowi ważny etap badań nad opracowaniem składu skutecznych preparatów mikrobiologicznych na bazie żywych mikroorganizmów. Zjawisko antagonizmu, niezależnie od jego mechanizmu, reguluje współistnienie drobnoustrojów zarówno patogenów, jak i saprofitów. Realizowana tematyka badań z tego obszaru pozwoliła określić potencjał antagonistyczny bakterii z rodzaju *Pseudomonas* w hamowaniu rozwoju patogenicznych grzybów z rodzaju *Fusarium* (*F. solani* i *F. culmorum*). Wykazano wysoką aktywność fungistatyczną fluoryzujących szczepów *Pseudomonas*, która w dużym stopniu zależała od temperatury inkubacji oraz składu i odczynu podłoża hodowlanego [zał. 3.II: praca nr 1.2]. W kolejnym doświadczeniu nad oddziaływaniem patogennych bakterii z rodzaju *Erwina* stwierdzono silne ograniczanie przyrostu grzybni pożytecznych grzybów z rodzaju *Trichoderma* [praca nr 1.4]. W badanej populacji bakterii aż 95% szczepów negatywnie wpływało na współbywanie *T. viride*, *T. koningii* i *T. harzianum*. Grzyby te są powszechnie znanymi antagonistami wielu fitopatogenów i wykorzystywane są jako biopreparaty w biologicznej ochronie roślin. Wykryte i opisane zjawisko jest bardzo niekorzystne i może tłumaczyć ich zanikanie po wprowadzeniu do środowiska glebowego.

Preparaty biologiczne są coraz częściej wykorzystywane jako środki ochrony roślin, a także jako użyźniacze glebowe bądź bionawozy. Jednakże ich skuteczność jest często dyskusyjna i opiera się na niejednoznacznych wynikach. Dlatego też podjęłam badania związane z działaniem biopreparatów w kontekście ich wykorzystania do zwalczania patogenicznych grzybów. Uzyskane wyniki przedstawiłam w 3 publikacjach, w tym 1 z listy JCR [zał. 3.II: 2.9; 2.44-45] oraz doniesieniach konferencyjnych [zał. 3.IV: A.19; B.13; B.14 i B.31]. W badaniach tych porównywano skuteczność przeciwgrzybową trzech preparatów EM (Efektywne Mikroorganizmy) ze środkami chemicznymi na bazie kwasu nadoctowego i formaldehydu. Preparaty EM wykazały silne właściwości grzybobójcze wobec patogenicznych grzybów pieczarek: *Mycogone pernicioso*, *Lecanicillium fungicola* i *Cladobotryum dendroides*. Użycie preparatów o nazwach EM-5 i EM-NA w testowanych dawkach 50 i 100 mg·cm⁻³ podłoża powodowało całkowite zahamowanie wzrostu grzybni w warunkach *in vitro*. Wysoka aktywność grzybobójcza preparatów EM, wskazuje na celowość prowadzenia dalszych badań nad możliwością zastosowania ich w warunkach uprawowych. Badania potwierdziły również wysoką skuteczność przeciwgrzybową testowanych preparatów chemicznych, tj. Agrosterilu, Leraseptu Specjal i formaldehydu. W doświadczeniu wazonowym

zauważono, że dezynfektanty te aplikowane do zakażonej grzybami gleby okazały się zdecydowanie mniej skuteczne i tylko w najwyższym z badanych stężeń hamowały rozwój grzybów.

W ten obszar tematyczny wpisują się także badania, które prowadziłam we współpracy z Katedrą Entomologii UTP w Bydgoszczy w ramach realizowanego w latach 2011-2014 grantu MNiSW PB-7295/B/P01/2011/40 pt. „Proekologiczne zabiegi ograniczające występowanie fitofagicznej entomofauny w krótkotrwałych monokulturach zbożowych”. Celem wykonywanego zadania badawczego było określenie wpływu preparatu mikrobiologicznego na bazie EM i biostymulatora Asahi na dynamikę rozwoju mikroorganizmów glebowych. Materiał do badań stanowiły próbki glebowe pobrane ze ściślego doświadczenia polowego, w którym stosowano preparaty w uprawie pszenicy jarej. Na podstawie wyników badań wykazano stymulujące działanie preparatu EM–NA na wzrost populacji większości badanych grup drobnoustrojów. Najbardziej dało się to zauważyć w liczebności bakterii ogółem oraz drobnoustrojów proteolitycznych. W oparciu o analizę statystyczną wyników (ANOVA) istotnie najwyższą liczebność bakterii, promieniowców, drobnoustrojów proteolitycznych i celulolitycznych otrzymano po zastosowaniu kombinacji EM z biostymulatorem. Jedynie w przypadku bakterii z rodzaju *Azotobacter* testowane preparaty nie przyczyniły się do wzrostu ich ilości w glebie. Rezultaty badań zaprezentowano m.in. na konferencjach naukowych i w materiałach konferencyjnych [zał. 3.IV: B.17; B.18].

Ważnym elementem mojej pracy naukowej jest udział w badaniach zespołowych prowadzonych z Katedrą Podstaw Produkcji Roślinnej i Doświadczalnictwa UTP w Bydgoszczy. Dotyczyły one również efektów stosowania preparatu mikrobiologicznego i jego współoddziaływania z innymi elementami agrotechniki w kształtowaniu biologicznych właściwości gleb i produktywności roślin. Wykazano, że trzyletnia aplikacja doglebowa preparatu UG_{max} w uprawie pszenicy ozimej spowodowała wzrost liczby badanych grup drobnoustrojów średnio o 44,2% w stosunku do uprawy bez użyźniacza (kontrola). Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono wskaźnik względnej zmiany liczebności mikroorganizmów (Wz). Wykazano, że dla wszystkich obiektów, w których stosowano użyźniacz glebowy wartość wskaźnika Wz wahała się od 1,24 do 2,64, co wskazuje na stymulujące działanie preparatu na skład mikroorganizmów glebowych. Część wyników z tych badań przedstawiono w pracy nr 2.46. Efektem wspólnych badań była również praca nr 2.30, w której porównywano skuteczność działania przeciwko fitopatogenom *Fusarium solani* f. sp. *pisi* i *F. oxysporum* f. sp. *pisi*. dwóch preparatów biologicznych, tj. Polyversum na bazie *Pythium oligandrum* oraz Bioczoz, z chemiczną zaprawą Super Homai. Doświadczenie przeprowadzono w 60 wazonach wypełnionych glebą o wilgotności 40%, 60% i 80% polowej

pojemności wodnej. Do najważniejszych rezultatów należało stwierdzenie, że najskuteczniejszą ochronę przed fuzariozą zgorzelową korzeni grochu w czasie wegetacji zapewnił Super Homai i Polyversum. Indeksy porażenia po ich zastosowaniu wynoszące 5,5% i 13,8% były zbliżone do kontroli bez inokulum (9,6%). Preparaty działały niezależnie od wilgotności z wyrównaną skutecznością ochronną. Uzyskane wyniki były również prezentowane na konferencji krajowej [zał. 3.IV: B.11].

Do tego nurtu tematycznego należą także badania, które prowadziłam we współpracy z Instytutem Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej (w ramach realizowanego zadania badawczego w projekcie badawczym zamawianym nr PBZ-MEiN-5/2/2006 - załącznik 4). Dotyczyły one zastosowania i efektywności nowo opracowanych przez ITFiM kompozytów mikrobiologicznych do usuwania związków odorowych. W czasie mojego pobytu szkoleniowego w ITFiM w 2009 r. zapoznałam się z metodami badawczymi przy opracowywaniu składu tych preparatów oraz aparaturą zaprojektowaną do ich testowania w skali półtechnicznej. Następnie w badaniach własnych sprawdzałam w jaki sposób kompozyty te wpływają na skład mikrobiologiczny i procesy nitryfikacji w składowanej masie odpadów różnego pochodzenia (odpady komunalne, osady pościekowe, pierze odpadowe). W tym celu wspólnie z pracownikami Katedry Chemii Środowiska WRiB UTP w Bydgoszczy przygotowałam stanowisko badawcze ze specjalnie skonstruowanymi bioreaktorami. Doświadczenie prowadzono w dwóch wariantach: z napowietrzaniem oraz bez aeracji (w szczelnie zamkniętej komorze bez dostępu powietrza). Wykazano, że testowane kompozyty nie oddziaływały antagonistycznie na mikroflorę odpadów, co odzwierciedlał wzrost liczebności mikroorganizmów, zwłaszcza w systemie z napowietrzaniem. Biopreparaty przyczyniły się również do obniżenia zawartości związków lotnych emitowanych z odpadów. Uzyskane wyniki stały się podstawą 2 prac opublikowanych w czasopiśmie z listy filadelfijskiej [zał. 3.II: 2.4; 2.6], 1 spoza listy i 1 rozdziału w monografii [2.37; 2.36], a także doniesień naukowych prezentowanych na konferencjach międzynarodowych w Czechach, Austrii oraz Polsce [zał. 3.IV: A.13; A.17; A.19].

W moim dorobku naukowym prowadziłam również badania nad wykorzystaniem wybranych bakterii (*Escherichia coli*, pałeczek *Salmonella*, paciorkowców kałowych typu-D oraz *Clostridium*) jako indykatorów mikrobiologicznych do oceny skuteczności procesów higienizacji gnojowicy, osadów pościekowych oraz pofermentu w aspekcie bezpiecznego ich zagospodarowania. Wynikiem tych prac było współautorstwo w 5 publikacjach, w tym 4 z listy JCR [zał. 3.II: 2.1; 2.5; 2.7; 2.13; 2.47]. Rezultaty badań dowodzą skuteczności higienizacyjnej testowanych preparatów chemicznych (perhydrołu, wodorotlenku sodu i tlenku wapnia)

w redukcji mikroorganizmów patogennych w masie pofermentacyjnej, powstającej w procesie wytwarzaniu biogazu [praca nr 2.13]. W przypadku gnojowicy jej efekt higienizacyjny zależał od temperatury składowania i zawartości suchej masy. Dla badanych bakterii *Salmonella* Dublin, *E. coli* oraz enterokoków obliczono podstawowe parametry kinetyki ich inaktywacji. Stwierdzono, że zalecany czas składowania gnojowicy jest niewystarczający dla zapewnienia jej pełnej higienizacji [praca nr 2.7]. Z kolei w pracy nr 2.47 opisano przeżywalność bakterii indykatorowych w procesie kompostowania osadów ściekowych technologią kontenerową. Stwierdzono całkowitą inaktywację pałeczek *E. coli*, natomiast liczba paciorkowców kałowych w tym samym czasie jedynie obniżyła się o 6 log. Zastosowany model badawczy wskazał brak pełnej higienizacji materiału w dolnej warstwie kompostowanej biomasy.

Ad 4. Moje zainteresowania naukowo-badawcze od 10 lat ukierunkowałam głównie na tematykę związaną z mikrobiologicznym zanieczyszczeniem powietrza. W ramach tego obszaru badawczego obok 5 publikacji zaprezentowanych jako osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym opublikowałam 17 prac naukowych, w tym 3 rozdziały w monografiach [zał. 3.II: 2.2; 2.3; 2.25; 2.28; 2.29; 2.31-36; 2.38; 2.39; 2.48; 2.49; 2.51; 2.56] oraz 18 doniesień naukowych z konferencji międzynarodowych [zał. 3.IV: A.9-10; A.12-16; A.18] i krajowych [B.8; B.12; B.19-21; B.23; B.25; B.26-27; B.29]. W roku 2006 aktywnie uczestniczyłam w przygotowaniu i opracowaniu projektu badawczego na temat „Nowe metody i technologie dezodoryzacji w produkcji przemysłowej, rolnej i gospodarce komunalnej”. Powyższy projekt koordynowany przez prof. dr hab. J. Zwoździaka z Politechniki Wrocławskiej realizowałam jako główny wykonawca w latach 2007-2010. Wyniki uzyskane w trakcie jego realizacji stały się podstawą do przygotowania 10 wyżej wymienionych publikacji oraz 8 wystąpień konferencyjnych, w których jestem pierwszym lub jedynym autorem. Celem badań było poznanie i określenie skali emisji bioaerozolu oraz stopnia mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na terenie wybranych obiektów gospodarki komunalnej i przemysłu rolno-spożywczego. Wyjaśnienie tych ważnych zagadnień, wymagało długoterminowych i szeroko zakrojonych badań monitoringowych. Były one prowadzone na terenie Polski, głównie północnej w kilkunastu zakładach: 4 kompostowniach, 3 oczyszczalniach ścieków, 3 składowiskach odpadów komunalnych, spalarni odpadów, ubojni drobiu, przetwórni mleczarskiej oraz zakładzie przetwórstwa ziemniaczanego. Pomiarów powietrza dokonywano na terenie obiektów i w różnych odległościach poza ich obrębem, co pozwoliło określić strefę ich oddziaływania. Stopień mikrobiologicznego zanieczyszczenia

powietrza oszacowano na podstawie zarejestrowanych stężeń bioaerozolu i oznaczonych w nim bakterii mezofilnych, grzybów strzępkowych, promieniowców, gronkowców, pałeczek *E. coli* i innych z grupy coli, *Salmonella* spp., *Enterococcus* spp. oraz *Pseudomonas fluorescens*. Wykazano, że zakłady gospodarki komunalnej zwłaszcza czynne składowiska odpadów w trakcie intensywnej eksploatacji są źródłem emisji bardzo dużych ilości bioaerozolu i wywierają negatywny wpływ na jakość mikrobiologiczną powietrza, a w efekcie stan higieniczny środowiska. Przyczyną wysokiej liczebności drobnoustrojów w powietrzu były również kompostownie, na terenie których w trakcie formowania przyzmy dochodziło do największego rozprzestrzeniania się promieniowców oraz zarodników grzybów. Emitowany przez zakłady bioaerozol okazał się źródłem potencjalnie chorobotwórczych dla człowieka bakterii m.in. z rodziny *Enterobacteriaceae*, paciorkowców kałowych i gronkowców. Duże zagrożenie stanowiły również wykryte w powietrzu grzyby o właściwościach alergizujących i toksynotwórczych z rodzaju *Aspergillus* (*A. fumigatus*, *A. niger*, *A. flavus*), *Penicillium* (*P. chrysogenum*, *P. notatum*), *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*. W pracy nr 2.38 przedstawiono wyniki składu bioaerozolu i stopnia mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na terenie i w obrębie przedsiębiorstwa utylizującego odpady pochodzenia zwierzęcego. Wykazano, że spalarnia ta nie stanowiła źródła emisji niebezpiecznego bioaerozolu bakteryjnego i mikrogrzybowego na okoliczne tereny, co związane było z zastosowaniem nowoczesnej technologii utylizacji oraz zabezpieczeń przeciw emisyjnych. Jedynie występujące w większej ilości gronkowce mannitolododatnie i promieniowce mogły stanowić zagrożenie dla najbliższej sąsiadujących domów mieszkalnych (ok. 200 m od zakładu). Na uwagę zasługują wyniki opublikowane w pracy nr 2.33, dotyczące badań prowadzonych na terenie ubojni drobiu. Liczebność bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*, gronkowców oraz paciorkowców kałowych w powietrzu przy hali uboju oraz odprowadzaniu odpadów drobiowych w porównaniu z obiektami gospodarki komunalnej była relatywnie wysoka i dochodziła w okresie letnim do 10^3 - 10^4 jtk·m⁻³. Świadczy to o poważnym zagrożeniu dla zdrowia pracowników, a także osób przebywających tymczasowo na terenie tego zakładu.

W latach 2014-2015 badałam skład bioaerozolu na terenie wybranych instalacji przetwarzających odpady komunalne oraz dokonałam oceny jego szkodliwego działania na otoczenie. Do identyfikacji składu gatunkowego bakterii wykorzystano system VITEK® 2. W badanym bioaerozolu oznaczono m. in. oportunistyczne i patogeniczne gatunki bakterii z rodzaju *Staphylococcus* (*S. aureus*, *S. auricularis*, *S. epidermidis*, *S. equorum*, *S. haemolyticus*), *Enterococcus* (*E. faecalis*, *E. faecium*, *E. hirae*), *Pseudomonas* (*P. fluorescens* i *P. aeruginosa*), *Gardnerella vaginalis*, *Kocuria rosea*. Z kolei analizy

mykologiczne wykazały obecność toksynotwórczych i alergizujących grzybów, takich jak: *Aspergillus terreus*, *A. niger*, *A. fumigatus*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium chrysogenum*, *Alternaria alternata*. Przeprowadzona ocena ilościowa i jakościowa mikrobioty powietrza wskazuje na niekorzystne oddziaływanie tych obiektów na środowisko oraz zdrowie mieszkańców okolicznych terenów. Rezultaty prac zaprezentowano na trzech konferencjach [zał. 3.IV: B.19; B.21; B.27] oraz opublikowano w pracy nr 2.49.

W celu podniesienia swoich kwalifikacji zawodowych i zapoznania się ze specjalistyczną aparaturą do pomiaru bioaerozolu odbyłam w 2015 r. dwutygodniowy staż naukowy w Katedrze Mikrobiologii na Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie. Zapoznałam się z obsługą oraz możliwościami wykorzystania 6-stopniowego impaktora kaskadowego Andersena (model 10-710, USA). W czasie pobytu uczestniczyłam w kilku badaniach terenowych, samodzielnie obsługując impaktor Andersena. Wykonywałam pomiary zapylenia oraz składu chemicznego powietrza na terenie i w obrębie Składowiska Odpadów Komunalnych w Baryczy koło Krakowa. Badania związane z problematyką emisji bioaerozoli prowadzę od kilkunastu lat, nawiązałam w tym czasie współpracę z 15 podmiotami gospodarczymi branży rolniczej, gospodarki komunalnej w regionie i kraju. Na zlecenie władz samorządowych wykonywałam ekspertyzy i raporty dotyczące mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza oraz oddziaływania obiektów gospodarki komunalnej na otoczenie. Przygotowałam i wydałam opinie eksperckie m.in. dla: Urzędu Gminy Radzanowo, Wydziału Gospodarki Komunalnej i Ochrony Środowiska Urzędu Miasta Bydgoszczy, Wodociągów Słupsk² Sp. z o.o., Zakładów Chemicznych ZACHEM S.A. w Bydgoszczy i inne. Bardzo sobie cenię współpracę z największym zakładem oczyszczania ścieków w Polsce – oczyszczalnią „Czajka” w Warszawie. Jest to jeden z najnowocześniejszych obiektów tego typu w Europie. Samodzielnie zaplanowane i wykonane przeze mnie badania posłużyły do opracowania raportu pt. Ocena mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na terenie i w otoczeniu oczyszczalni ścieków „Czajka” w Warszawie. Na jego podstawie wydałam również opinię dla Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Warszawie. Szczegółowy wykaz ekspertyz i opracowań naukowych z tego zakresu badań zamieszczono w załączniku nr 4. Prowadziłam również autorskie warsztaty i szkolenia z zakresu techniki poboru powietrza i zastosowania mierników wolumetrycznych w biomonitoringu mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza (m.in. dla pracowników laboratorium „Biochemik” w Śmiłowie).

Kolejnym ważnym elementem mojej pracy naukowej nad występowaniem drobnoustrojów w bioaerozolu były badania jakości mikrobiologicznej powietrza

wewnętrznego w halach produkcyjnych zakładów rolno-spożywczych. W związku z utworzeniem na uczelni kierunku kształcenia Technologii Żywności i Żywnienie Człowieka (2009 r.) oraz restrukturyzacją Wydziału nastąpiła zmiana nazwy Katedry (od 2014 r. Katedra Mikrobiologii i Technologii Żywności), poszerzono profil badawczy o tematy związane z higieną produkcji i bezpieczeństwem mikrobiologicznym żywności. Od 2015 r. nawiązałam współpracę z 4 wiodącymi w regionie przedsiębiorstwami branży mięsnej i rybnej. Efektem były wielosezonowe badania mikrobiologiczne powietrza hal technologicznych oraz powierzchni roboczych. W celu przedstawienia szczegółowej charakterystyki składu bioaerozolu wewnętrznego wykorzystywałam metody oparte na szybkiej diagnostyce przy użyciu systemu VITEK® 2 firmy BioMerieux oraz spektroskopii masowej MALDI Biotyper MSP. W powietrzu hal produkcyjnych wykrywano powszechnie spotykane drobnoustroje saprofityczne, ale także potencjalnie chorobotwórcze gatunki odpowiedzialne za infekcje i zatrucia pokarmowe. Do najczęściej identyfikowanych gatunków należały bakterie z rodzaju *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Moraxella*, *Kytococcus*, *Kocuria*, *Pseudomonas*. Ważnym aspektem badań było wykrycie na stanowiskach pomiarowych zarówno w powietrzu, jak i na powierzchniach roboczych bakterii z rodzaju *Listeria*. Dzięki wdrożonym metodom biologii molekularnej w Katedrze Mikrobiologii i Technologii Żywności WRiB, możliwe było oznaczenie gatunku i wybranych cech *Listeria monocytogenes* (odbyłam szkolenie z metod PCR i real-time PCR). Identyfikację gatunku wykonano w oparciu o technikę łańcuchowej reakcji polimerazy (PCR) i elektroforezę w żelu agarozowym. Dla uzyskanych izolatów *L. monocytogenes* ustalano stopnień pokrewieństwa genetycznego metodą losowej amplifikacji polimorficznych fragmentów DNA (RAPD). Szczepy *L. monocytogenes* poddawano również serogrupowaniu z wykorzystaniem metody multipleks PCR (mPCR). Wszystkie wyniki elektroforezy po przeprowadzonych reakcjach PCR, RAPD i mPCR zwizualizowano wykorzystując system Gel Doc™ XR+ (Bio-Rad). Analizy molekularne izolatów *L. monocytogenes* pochodzących z hali produkcyjnej zakładu rybnego potwierdziły wśród nich obecność chorobotwórczych dla człowieka serotypów oraz ich przynależność do I linii filogenetycznej. Natomiast diagramy podobieństwa szczepów sporządzone na podstawie wyników RAPD wykazały wysokie pokrewieństwo 69-100% dla 5 szczepów, a co istotne 4 z nich okazały się identyczne [**praca nr 2.57**]. Badania dowiodły również, że ten sam genetycznie szczep *L. monocytogenes* występował w kilku punktach pomiarowych nawet po 35 dniach, mimo regularnie wykonywanej w zakładzie dezynfekcji. Świadczyło to o jego rozprzestrzenianiu się w halach technologicznych monitorowanego zakładu. Seria mikrobiologicznych badań środowiska produkcyjnego ze szczególnym uwzględnieniem występowania bakterii *L. monocytogenes* prowadzonych

w ostatnich latach dostarczyła bardzo ciekawych wyników. Zaprezentowano je na międzynarodowej konferencji (ICEI 2017) "Microbiome and Health: Indications of Sustainable Agriculture and Food-Chains" w Helsinkach (w postaci referatu - **zał. 3.IV: A.24**) oraz 6 sympozjach krajowych [**B.20; B.22; B.24; B.26; B.28-29**]. Część wyników została opublikowana w 6 artykułach naukowych [**zał. 3.II: 2.48; 2.51-52; 2.55--57**]. Zrealizowane prace potwierdzają, że badania czystości mikrobiologicznej powietrza są istotnym elementem kontroli stanu sanitarno-higienicznego i bezpieczeństwa produkowanych wyrobów żywnościowych w zakładach przetwórstwa rolno-spożywczego. Badania z tego zakresu są nieliczne na tle krajowego i zagranicznego piśmiennictwa, dlatego też wyniki prowadzonych przeze mnie badań stanowią cenne informacje, zarówno pod względem naukowym, jak i aplikacyjnym. Efektem pogłębiania wiedzy z tego zakresu było również opublikowanie dwóch prac przeglądowych [**zał. 3.II: 2.58-59**]. W pracy **nr 2.59** opisałam najważniejsze źródła skażenia powietrza i zagrożenia mikrobiologiczne wynikające z obecności bioaerozolu na liniach produkcyjnych zakładów przetwórstwa rolno-spożywczego.

W najbliższym czasie w ramach realizowanego (2018-2021) przez UTP projektu badawczego pt. „Bezpieczeństwo łańcucha żywnościowego i żywność spersonalizowana SafeFoodMed” na doposażenie w infrastrukturę badawczą laboratoriów, w którym jestem wykonawcą, zostanie zakupiony 6-stopniowy impaktor kaskadowy Andersena. Pozwoli to na prowadzenie przeze mnie szczegółowych badań jakości mikrobiologicznej powietrza z możliwością oznaczenia różnych frakcji bioaerozolu ze względu na rozmiar cząsteczek zawieszonych.

Potwierdzeniem mojej dotychczasowej aktywności naukowo-badawczej było otrzymanie **10 nagród JM Rektora Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy.**

IV. Zestawienie dorobku naukowego z uwzględnieniem wskaźników bibliometrycznych

Mój dorobek publikacyjny obejmuje:

- **73** oryginalne prace (**63** po uzyskaniu stopnia doktora) w recenzowanych czasopismach naukowych, w tym: **21** prac z listy JCR (w 6 czasopismach zagranicznych z listy JCR oraz w 5 czasopismach krajowych z listy JCR), **52** prace w czasopismach spoza JCR (**24** w języku angielskim oraz **28** w języku polskim)
- **2** artykuły popularnonaukowe
- **65** streszczeń i komunikatów opublikowanych w materiałach konferencyjnych.

W **12 pracach jestem jedynym**, natomiast w **36 pracach pierwszym autorem** i autorem korespondencyjnym.

Oryginalne prace twórcze opublikowałam w **33** czasopismach naukowych, **10** rozdziałach w monografii (5 w języku angielskim i 5 w języku polskim). Do mojego dorobek naukowego należy również zgłoszenie wzoru przemysłowego i uzyskanie prawa z rejestracji w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej.

Podczas dotychczasowej pracy naukowej wyniki badań własnych prezentowałam na **58** konferencjach i sympozjach naukowych, w tym na **25** międzynarodowych (Finlandia, Niemcy, Austria, Czechy, Węgry, Estonia, Rosja, Polska) oraz **33** krajowych. Szczegółowy wykaz konferencji z moim udziałem przedstawiono w załączniku 3 (konferencje międzynarodowe IV: A.1-A.25, krajowe IV: B.1-B.33).

Łącznie byłam autorem i/lub współautorem 10 prezentacji ustnych oraz 55 prezentacji posterowych.

IV.1. Wskaźniki bibliometryczne dorobku

- a) Sumaryczny wskaźnik oddziaływania (Impact Factor) publikacji naukowych według bazy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **18,046**, w tym:
 - publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego: **5,734**
 - pozostałe publikacje nie wchodzące w skład osiągnięcia naukowego: **12,312**.
- b) Liczba punktów za prace naukowe według punktacji Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **661 pkt**, w tym:
 - publikacje naukowe wchodzące w skład osiągnięcia naukowego: **112 pkt**
 - pozostałe prace nie wchodzące w skład osiągnięcia naukowego: **549 pkt**.
- c) Liczba cytowań publikacji według:
 - bazy Web of Science (WoS) wynosi **32** (bez autocytowań 27)
 - bazy Scopus wynosi **45**.
- d) Indeks Hirscha opublikowanych prac według:
 - bazy Web of Science (WoS) wynosi **3**
 - bazy Scopus (WoS) **4**.

Zestawienie liczbowe dorobku naukowego (z uwzględnieniem prac dokumentujących osiągnięcia naukowe)

Lp.	Nazwa czasopisma	Liczba prac	IF ^a	Punkty MNiSW ^{b/c}	Suma punktów	Numer publikacji ^d
1	Atmospheric Pollution Research	1	1,637	20 ^b	20	4*
2	Environmental Earth Sciences	3	1,569	25	75	6*, 7*, 2.11
3	Environmental Science Pollution Research	1	2,800	30	30	2.12
4	Journal of Soils and Sediments	1	2.627	30	30	2.14
5	Journal Plant Diseases and Protection	1	0,477	25	25	2.8
6	International Journal Environ. Research	1	1,019	15	15	2.15
7	Annals of Animal Science	1	0,419	15/20 ^c	15/20	2.7
8	Polish Journal of Environ. Studies 2003	1	0,461	10/15 ^c	20/30	2.1
	2007	1	0,627			1*
9	Przemysł Chemiczny 2009	2	0,332	15	130/120	3* , 2.2
	2010	2	0,290	20/15 ^c		2.3, 2.4
	2011	1	0,414	15		2.5
	2013, 2015	2	0,367	15		2.6, 2.9
	2017	1	0,399	15		2.13
10	Sylvan	1	0,481	15	15	2.10
11	Medycyna Weterynaryjna ^c	1	-	10/15 ^c	10/15	2*
12	Medycyna Środowiskowa – Environ. Med.	1		8	8	2.48
13	Journal of Ecological Engineering	1		12	12	2.50
14	Prace Naukowe UE we Wrocławiu	5		10	50	2.49, 2.51, 2.56, 2.57, 2.59
15	Roczniki Gleboznawcze	1		5/14 ^c	5/14	2.17
16	Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura	1		6/11 ^c	6/11	1.10
17	Acta Agrobotanica	1		7/14 ^c	7/14	2.18
18	Acta Agrophysica	1		5/14 ^c	5/14	1.8
19	Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.	1		13	13	2.47
20	Electronic Journal of Polish Agricultural Universities ser. Agronomy	1		6/12 ^c	18/36	2.16
	ser. Animal Husbandry	1				2.20
	ser. Environmental Development	1				2.19
21	Ecological Chemistry and Engineering A	1		7/11 ^c	7/11	5*
22	Ecohydrology & Hydrobiology	1		6/15 ^c	6/15	2.27
23	Phytopathologia/Phytopathologia Polonica	1		6	6	2.22
24	Postępy w Ochronie Roślin/Prog. Plant Prot.	2		4/12 ^c	8/24	1.1, 2.30
25	Polish Journal of Agronomy	1		4/10 ^c	4/10	2.41
26	Ochr. Śr. Zasobów Nat./ Environ. Protec. Natural Resources	1		5/12 ^c	5/12	2.40
27	Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie	2		6, 10 /10 ^c	16/20	2.35, 2.54
28	Ekologia i Technika	5		4,4,2,5,3/5 ^c	18/25	2.31, 2.32, 2.38, 2.44, 2.45
29	Pr. Kom. Nauk Roln. Biol. BTN	1		4	4	2.24
30	Zeszyty Naukowe ATR Bydgoszcz	3		3	9	1.5, 1.6, 1.7
Inne prace						
31	Rozdziały w monografii w j. angielskim	5		7/5 ^c	35/25	1.2, 2.21, 2.26, 2.28, 2.33
32	Rozdziały w monografii w j. polskim	5		3,3,3,4,4/4 ^c	17/20	1.3, 1.4, 2.36, 2.46, 2.58
33	Proceedings of ECOpole	1		5/9 ^c	5/9	2.39
34	Proceedings of Ecology and eco-technologie	1		2	2	1.9
35	Proceedings of Congress ISAH	4		-	-	2.25, 2.29, 2.34, 2.37
36	Postępy Mikrobiologii supl.	2		-	-	2.23, 2.55
37	Journal of Elementology supl.	1		-	-	2.43
38	Book of Abstracts	3				2.42, 2.52, 2.53
39	Prace popularnonaukowe	2		-	-	III.1, III.2
40	Wzór przemysłowy nr Wp-16515 zatwierdzony przez UPRP ^f	1		10	10	IV.1
Razem			18,046 (5,734*)		661/769 ^c (112*)	

- ^a Impact Factor - współczynnik oddziaływania publikacji naukowych, według bazy Journal Citation Reports (JCR) zgodnie z rokiem publikowania.
- ^b Liczba punktów zgodnie z punktacją MNiSW w roku ukazana się pracy.
- ^c Liczba punktów zgodnie z ujednoliconym wykazem list czasopism punktowanych przez MNiSW z dnia 26-01-2017 r. (oznaczona dla prac różniących się liczbą punktów).
- ^d Numer publikacji w wykazie opublikowanych prac (załącznik nr 3).
- ^e Med. Weteryn. w roku ukazania się pracy była na liście A czasopism wyróżnionych w JCR zgodnie z wykazem czasopism punktowanych MNiSW z dnia 28-11-2007r. (w roku opublik. pracy czasop. nie posiadało IF, obecnie za 2017r. IF=0,197).
- ^f Prawo z rejestracji wzoru przemysłowego udzielone przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej; liczba punktów według Rozporządzenia MNiSW z dnia 13-07-2012 r. [Dz.U.2012.0.877].
- * Wyróżnione liczby dotyczą prac dokumentujących osiągnięcie naukowe.

Barbara Brona Bando

.....