

Załącznik 2

Autoreferat wnioskodawcy przedstawiający omówienie osiągnięcia naukowego zgłaszanego jako przedmiot postępowania habilitacyjnego i pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Spis treści

1. Imię i nazwisko	4
2. Wykształcenie	4
2.1 Posiadane tytuły i stopnie naukowe.....	4
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	4
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiące podstawę do ubiegania się o tytuł doktora habilitowanego	5
4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego	5
4.2 Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego.....	5
4.3 Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.....	6
4.3.1 Wprowadzenie	6
4.3.2 Cel i zakres pracy.....	8
4.3.3 Wyniki i wnioski.....	9
4.3.4 Podsumowanie cyklu publikacji – najważniejsze aspekty nowości naukowej.....	15
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych.....	16
5.1 Tematyka badań będących przedmiotem mojego zainteresowania przed uzyskaniem stopnia doktora	16
5.2 Tematyka badań będących przedmiotem mojego zainteresowania po uzyskaniu stopnia doktora	17
5.3 Publikacje naukowe	19
5.4 Projekty naukowe	19

5.5	Udział w konferencjach krajowych i międzynarodowych	19
5.6	Recenzje.....	20
5.7	Działalność dydaktyczna	20
5.8	Działalność organizacyjna.....	20
5.9	Podsumowanie dorobku naukowego	21
	Literatura	22

1. Imię i nazwisko

Renata Toczyłowska-Mamińska

2. Wykształcenie

2008 - jednosemestralne **studia podyplomowe** w zakresie doskonalenia pedagogicznego, Wydział Ekonomiczno-Rolniczy, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

2004-2008 – **studia doktoranckie**, Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska

1999-2004 – **studia magisterskie**, Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska, kierunek: *Technologia chemiczna*, specjalność: *Materiały i technologie przyjazne środowisku*

2.1 Posiadane tytuły i stopnie naukowe

Stopień naukowy – doktor nauk chemicznych – w zakresie chemii, Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska, 2009, tytuł rozprawy doktorskiej: *„Badania nad miniaturowymi elektrodami jonoselektywnymi i referencyjnymi na stałym podłożu”*

promotor: prof. dr hab. Wojciech Wróblewski

Tytuł i stopień zawodowy – magister inżynier z wyróżnieniem – w zakresie materiałów i technologii przyjaznych środowisku na kierunku: *Technologia chemiczna*, Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska, 2004, tytuł pracy magisterskiej: *„Zastosowanie polimerów przewodzących w konstrukcji miniaturowych sensorów potencjometrycznych”*

promotor: prof. dr hab. Wojciech Wróblewski

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

grudzień 2009 – obecnie, adiunkt, Katedra Fizyki, Wydział Technologii Drewna, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiące podstawę do ubiegania się o tytuł doktora habilitowanego

Osiągnięciem wynikającym 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. nr 65, poz. 595 ze zm.) jest cykl publikacji powiązanych tematycznie, o tytule jak poniżej.

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Produkcja prądu elektrycznego z substratów lignocelulozowych w mikrobiologicznych ogniwach paliwowych

4.2 Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

A5. **Renata Toczyłowska-Mamińska**, Karolina Szymona, Monika Kloch, Bioelectricity production from wood hydrothermal treatment wastewater. Enhanced power generation in MFC fed mixed wastewaters, *Science of the Total Environment* 2018, 634: 586–594

IF₂₀₁₆= 4.9 (5-letni IF=5.1), 40 pkt MNiSW

A4. **Renata Toczyłowska-Mamińska**, Karolina Szymona, Patryk Król, Karol Gliniewicz, Katarzyna Pielech-Przybylska, Monika Kloch, Bruce E. Logan, Evolving microbial communities in cellulose-fed microbial fuel cells, *Energies* 2018, 11(1): 124-135

IF₂₀₁₆= 2.262 (5-letni IF=2.7), 25 pkt MNiSW

A3. **Renata Toczyłowska-Mamińska**, Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017, 78: 764–772

IF₂₀₁₆= 8.05 (5-letni IF=9.12), 45 pkt MNiSW

A2. **Renata Toczyłowska-Mamińska**, Karolina Szymona, Monika Kloch, Utilization of cellulose biomass by anaerobic digestion. Optimization of microbial fuel cell (MFC) parameters, *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Forestry and Wood Technology* 2016, 93: 148–154

10 pkt MNiSW

- A1. **Renata Toczyłowska-Mamińska**, Karolina Szymona, Hubert Madej, Wan Zhen Wong, Agnieszka Bala, Wojciech Brutkowski, Krzysztof Krajewski, Paik San H'ng, Mariusz Mamiński, Cellulolytic and electrogenic activity of *Enterobacter cloacae* in mediatorless microbial fuel cell, *Applied Energy* 2015, 160: 88–93

IF₂₀₁₅= 5.746 (5-letni IF=7.5) 45 pkt MNiSW

Łączna punktacja ww. prac wchodzących w skład cyklu powiązanych tematycznie publikacji wynosi 165 punktów MNiSW oraz sumaryczny IF = 20.958 (5-letni IF=24.42)

4.3 Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

4.3.1 Wprowadzenie

Według *International Panel on Climate Change* (IPCC) światowe zużycie energii podwoi się do roku 2095 i osiągnie wartość 1200 EJ/rok¹. Ponieważ 90% obecnie produkowanej energii pochodzi z paliw kopalnych, wobec szybko kurczących się ich rezerw oraz globalnego problemu zanieczyszczenia środowiska związanego z ich wykorzystaniem, prognozowany jest wzrost udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych do 30-40% w roku 2050^{2,3}. Biomasa jest ekologicznym i odnawialnym rodzajem paliwa, pochodzącym z materiałów organicznych i ulegającym biodegradacji. Najczęściej jest ona materiałem pochodzenia roślinnego, składającym się głównie z polisacharydów i/lub związków polifenolowych: celuloza, lignina, skrobia, chitozan itp. występujących w drewnie czy roślinach plantacyjnych. Do biomasy zaliczają się też inne materiały organiczne, pochodzenia zwierzęcego oraz produkowane przez człowieka, jak ścieki oraz organiczne odpady w postaci stałej i płynnej. Ważnym aspektem środowiskowym w badaniach nad zastosowaniem biomasy w produkcji energii jest poszukiwanie sposobów na jej wykorzystanie bez pogłębiania efektu cieplarnianego. Stąd popularnym sposobem na wykorzystanie biomasy lignocelulozowej jest jej fermentacja do biopaliw: bioetanolu⁴, biobutanolu⁵, metanu⁶ czy wodoru. Produkcja biopaliw wiąże się jednak z koniecznością wstępnej obróbki surowca bezpośrednio związanej z wkładem energetycznym, wydłużeniem procesu produkcji energii oraz wytwarzaniem produktów odpadowych. Technologia bezodpadową, skupiającą na sobie coraz większą uwagę, pozwalającą na bezpośrednią produkcję z biomasy energii w postaci

prądu elektrycznego są mikrobiologiczne ogniwa paliwowe (z ang. *Microbial Fuel Cell*, MFC)⁷. Z chemicznego punktu widzenia MFC to układy bioelektrochemiczne, w których reakcje utleniania/redukcji katalizowane są przez mikroorganizmy czemu towarzyszy produkcja prądu. Typowy układ MFC składa się z anody i katody umieszczonych w osobnych naczyniach, między którymi zapewniony jest kontakt elektrolityczny poprzez membranę jonoselektywną – w tym wypadku zdolną do przenoszenia protonów. Dzięki elektrogennej aktywności mikroorganizmów na anodzie zachodzi utlenianie substratów, czemu towarzyszy zewnątrzkomórkowe uwalnianie protonów i elektronów. Uwolnione elektrony przekazywane są przez mikroorganizmy do anody, a następnie dalej do katody. Jednocześnie, uwolnione protony przechodzą do katolitu przez jonoselektywną membranę. W katolicie, elektrony i protony w obecności tlenu (ostatecznego akceptora elektronów) tworzą wodę. Prąd elektryczny tworzony w układzie jest skutkiem odseparowania anody (donor elektronów, umieszczony w warunkach beztlenowych) od katody (akceptor elektronów, umieszczony w warunkach tlenowych), w wyniku czego wymuszony jest ruch elektronów przez opór zewnętrzny. Ruch elektronów od anody do katody jest procesem spontanicznym, skutkującym powstaniem prądu elektrycznego w układzie.

Zjawisko wytwarzania prądu elektrycznego przez bakterie zostało zaobserwowane przez Pottera już w roku 1911 dla bakterii *Escherichia coli* i drożdży *Saccharomyces cerevisiae* na elektrodach platynowych⁸. Mimo, że publikacja była przełomowa, nie wzbudziła większego zainteresowania, gdyż zmierzone parametry elektryczne związane z aktywnością mikroorganizmów były niskie. Kontynuacja badań nastąpiła w latach 60-tych XX wieku, ale ich wyniki wciąż nie były satysfakcjonujące⁹. Przełom w badaniach nastąpił w latach 80-tych, kiedy zauważono, że produkcja mocy w MFC może być znacząco zwiększona przez dodatek mediatorów elektronów, co zaowocowało pracami z zastosowaniem barwników (np. błękitu metylowego) i związków metaloorganicznych [A3]. Chociaż okazało się, że mediatory są toksyczne, drogie i niestabilne w warunkach pracy MFC, konsekwencją badań z ich udziałem było wiele obserwacji dotyczących mechanizmu transportu elektronów i odkrycie przełomowych dla MFC bakterii elektrogennych, m.in. *Shewanella oneidensis*, *Geobacter sulfurreducens* czy *Geobacter metallireducens*, które wykazują zdolność do przekazywania elektronów bezpośrednio do elektrody^{10,11}. Równoległe z badaniami mechanizmu transportu elektronowego prowadzone były też badania nad różnymi konstrukcjami reaktorów MFC oraz wykorzystaniem szerokiego spektrum substratów do produkcji prądu.

Szczególnie atrakcyjnym zastosowaniem MFC jest wykorzystanie tej technologii do oczyszczania różnego rodzaju ścieków z jednoczesną produkcją prądu. Rozkładając związki występujące w ściekach mikroorganizmy powodują zmniejszenie ich chemicznego zapotrzebowania tlenowego (ChZT), a produktem ubocznym procesu oczyszczania jest prąd elektryczny. Dotychczas technologię MFC z powodzeniem zastosowano do oczyszczania ścieków komunalnych, ścieków z przemysłu spożywczego czy górniczego¹². Technologia ta okazała się być pod wieloma względami korzystniejsza nawet w porównaniu z bardzo popularną metodą fermentacji beztlenowej ze względu na bezpośrednią produkcję bioenergii w postaci prądu elektrycznego, możliwość pracy w szerokim zakresie ChZT i temperatur [A3]. Technologia MFC doskonale wpisuje się w koncepcję zrównoważonego rozwoju, ponieważ nie tylko umożliwia oczyszczanie ścieków bez konieczności dostarczania energii, ale także wytwarza ją podczas procesu oczyszczania. Najbardziej wydajne MFC produkują energię o gęstości mocy sięgającej 1,5 kW/m³. Dzięki temu procesy oczyszczania ścieków przy udziale MFC mogą być energetycznie samowystarczalne.

4.3.2. Cel i zakres pracy

Celem prac badawczych ujętych w cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe było wykorzystanie mikrobiologicznych ogniw paliwowych do produkcji bioenergii w postaci prądu elektrycznego z substratów lignocelulozowych: stałej biomasy w postaci celulozy oraz ścieków z przemysłu drzewnego zawierających celulozę, ligninę, ich małowcząsteczkowe pochodne oraz produkty ich rozkładu. W opisanych przeze mnie badaniach do produkcji prądu elektrycznego z celulozy po raz pierwszy zastosowano wyizolowany z przewodu pokarmowego termitów szczep *Enterobacter cloacae* wykazujący właściwości celulolityczne i elektrogenne. Produkcja prądu z celulozy była również badana w układach MFC, w których zastosowano konsorcja bakteryjne z treści jelitowej bydła, a zmiany składu konsorcjum na skutek pracy ogniwa poddano analizie genomowej. Zademonstrowano też po raz pierwszy możliwość oczyszczania ścieków z przemysłu drzewnego z jednoczesną produkcją prądu elektrycznego. Badania wchodzące w skład osiągnięcia habilitacyjnego obejmowały m.in. pomiary parametrów elektrycznych ogniw (tj. napięcie elektryczne, prąd elektryczny), badania elektrochemiczne (woltamperometria cykliczna), badania składu chemicznego ścieków (np. chemiczne zapotrzebowanie tlenowe, oznaczanie stężenia lotnych kwasów za pomocą chromatografii gazowej), identyfikację

bakterii (sekwencjonowanie genomowe) oraz metody obrazowania (skaningowa mikroskopia elektronowa).

4.3.3 Wyniki i wnioski

Zazwyczaj w układach MFC substratami są związki proste (np. glukoza lub kwas octowy) dostarczane w postaci rozpuszczonej. Takie substraty mogą być bezpośrednio wykorzystane przez elektrogenne bakterie jako paliwo i być łatwo przetworzone przez nie w prąd elektryczny. Użycie w układach MFC stałej biomasy jako substratu do produkcji prądu wciąż pozostaje wyzwaniem.

Celuloza jest najpowszechniej występującym w przyrodzie biopolimerem i głównym składnikiem biomasy lignocelulozowej, a jej roczna biosynteza w skali światowej szacowana jest na $7,5 \times 10^{10}$ ton¹³. Niestety jest ona też bardzo trudnym materiałem do rozłożenia przez mikroorganizmy. Dzięki dużej zawartości obszarów krystalicznych w swojej budowie jest nierozpuszczalna w wodzie i stosunkowo odporna na hydrolizę enzymatyczną. Dodatkowo sytuację komplikuje drugorzędowa struktura celulozy, występowanie wiązań wodorowych pomiędzy łańcuchami celulozowymi oraz tworzenie włókien na różnych poziomach struktury. Stąd też wykorzystanie celulozy do produkcji prądu w układach typu MFC wymaga jej wstępnego przygotowania np. poprzez pirolizę, hydrolizę kwasową lub zasadową, co znacząco utrudnia proces produkcji bioenergii, m.in. wydłuża i podnosi koszty [A1].

W swoich badaniach opisanych w pracy A1 wykorzystałam bakterie, które wykazywały zdolność do rozkładu celulozy z jednoczesną produkcją prądu, co pozwala na bezpośrednią produkcję prądu elektrycznego ze stałej biomasy w postaci celulozy. Ponieważ termyty znane są z niezwykłych zdolności do trawienia drewna dzięki bytowaniu w ich przewodzie pokarmowym wyspecjalizowanych konsorcjów bakteryjnych, celem badań było wykorzystanie bakterii z przewodu pokarmowego termitów pod kątem ich potencjalnej zdolności do produkcji prądu z celulozy. W badaniach użyto szczepu bakterii *Enterobacter cloacae* wyizolowanego z termitów *Coptotermes curvignathus*, który wykazywał wysoką aktywność celulolityczną, a wcześniejsze doniesienia wskazywały też na jego potencjalne właściwości elektrogenne¹⁴. Badania przeprowadzone zostały w reaktorach dwukomorowych (anoda umieszczona w o komorze beztlenowej, katoda umieszczona w komorze tlenowej). W wyniku badań otrzymano z celulozy wysokie wartości maksymalnej gęstości prądu sięgające

1,4 A/m² i maksymalną gęstość mocy 184 mW/m², znacznie wyższe niż gęstości prądu otrzymane dotąd przy użyciu szczepu *E. cloacae* komercyjnie dostępnego (odpowiednio 0,119 A/m² i 5,4 mW/m²)¹⁴. Badania z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej pokazały, że na powierzchni anody bakterie utworzyły biofilm, a rozległa sieć nanowypustek (pili) wskazuje na elektrogenne zdolności wykorzystanych mikroorganizmów. Wyniki pomiarów z zastosowaniem woltamperometrii cyklicznej potwierdziły, że bakterie cechuje aktywność elektrochemiczna typowa dla bakterii posiadających cytochrom c w zewnętrznej warstwie ściany komórkowej. Po raz pierwszy pokazałam, że aktywność elektrogeniczna *E. cloacae* (przekazywanie elektronów do anody) realizowana jest za pomocą pili.

W pracy A1 przeprowadziłam także badania wpływu rodzaju substratu celulozowego na produkcję energii. Najwyższe gęstości prądu, sięgające 2,4 A/m² otrzymałam dla celulozy o najwyższej zawartości fazy amorficznej (najniższy indeks krystaliczny). Wyniki badań wskazują, że zawartość fazy amorficznej w materiale celulozowym jest dominującym czynnikiem wpływającym na wydajność produkcji energii.

Powyższe badania stały się pierwszym w literaturze doniesieniem o wykorzystaniu szczepu bakterii wyizolowanego z przewodu pokarmowego termitów do bezpośredniej produkcji prądu elektrycznego z celulozy. Wykazałam, że bakterie zaadaptowane do materiału celulozowego (w tym wypadku szczep *E. cloacae* wyizolowany z przewodu pokarmowego termitów) odznaczają się znacznie wyższą efektywnością w wykorzystaniu celulozy jako substratu do produkcji prądu niż bakterie niezaadaptowane (szczep *E. cloacae* komercyjnie dostępny). Potwierdziłam też, że wysoka zawartość fazy amorficznej w substracie celulozowym wpływa korzystnie na wydajność produkcji prądu.

Ze względu na fakt, że mikroorganizmy zaadaptowane do substratu celulozowego, szczególnie występujące w konsorcjach, cechują się dużym potencjałem celulolitycznym, zbadalam także możliwość produkcji prądu elektrycznego z celulozy w układach MFC, w których źródłem bakterii było konsorcjum bakteryjne wyizolowane z treści jelitowej bydła [A2]. Zaletą wykorzystania konsorcjum w porównaniu do pojedynczego szczepu jest to, że współistnieją w nim bakterie wykazujące zróżnicowaną aktywność mikrobiologiczną. Na przykład obok siebie mogą występować szczepy o właściwościach celulolitycznych, szczepy mające zdolności fermentacyjne oraz szczepy elektrogenne. Ponadto konsorcja bakteryjne są znacznie łatwiejsze w hodowli, potrafią przetrwać w zmiennych warunkach np. dostępności

substratu, obecności inhibitorów czy pH, co czyni je znacznie łatwiejszymi do zastosowań praktycznych. Ze względu na fakt, że pojedyncze szczepy nie mogą być zastosowane w przypadku substratów złożonych, użycie odpowiedniego konsorcjum bakteryjnego jest w takiej sytuacji nieodzowne. Z doniesień literaturowych wynika, że konsorcjum bakteryjne z treści jelitowej byłą wykazuje potencjał prądotwórczy, stąd też zdecydowałam wykorzystać je w eksperymentach jako modelowe konsorcjum zaadaptowane do substratu celulozowego¹⁵.

W badaniach z zastosowaniem dwukomorowych układów MFC, w których wykorzystywałam celulozę jako substrat, otrzymałam maksymalną gęstość mocy w zakresie od 40 do 100 mW/m², w zależności od powierzchni anody oraz stosunku powierzchni anody do katody. Najlepszymi parametrami charakteryzowały się ogniwa o najmniejszej badanej powierzchni anody oraz stosunkiem powierzchni anody do katody 1:1 [A2]. Na podstawie otrzymanych wyników można wysnuć wniosek, że w badanych układach MFC, w celu zwiększenia produkcji mocy, bardziej efektywne będzie zbudowanie układu kilku połączonych reaktorów niż powiększanie rozmiarów jednego reaktora. Jednakże, najwyższą stabilność napięcia w czasie zaobserwowano dla MFC, w których różnica powierzchni między anodą a katodą była największa. Badania anody pochodzącej z dwukomorowego reaktora za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej wykazały, że bakterie utworzyły na powierzchni elektrody biofilm¹⁶. Rozbudowana sieć pili, w znacznie większym stopniu niż w biofilmie utworzonym przez pojedynczy szczep *E. cloacae*, może wskazywać, że w przypadku konsorcjum bakteryjnego, w tworzeniu biofilmu biorą udział nie tylko szczepy elektrogenne, co dodatkowo wskazuje na złożoność wzajemnych zależności w tego typu układach biologicznych.

Badania z zastosowaniem konsorcjum bakteryjnego wyizolowanego z treści jelitowej byłą przeprowadziłam także w jednokomorowych układach MFC z katodą powietrzną, w których substratem była celuloza [A4]. W tego typu reaktorach anoda i katoda umieszczone były we wspólnej komorze, a tlen dyfundujący przez katodę wpływał na pracę i skład użytego konsorcjum. Analiza chromatograficzna składu roztworu pobranego z komory MFC pozwoliła dowiedzieć, że podczas pracy ogniwa powstaje kwas octowy w stężeniu sięgającym 220 mg/L, który jest głównym produktem pośrednim podczas hydrolizy celulozy¹⁷. Analiza składu bakteryjnego przy użyciu metod sekwencjonowania genomowego ujawniła, że po 30 dniach pracy konsorcjum w MFC było zdominowane przez fermentory typu *Bacteroidetes* oraz elektrogeny typu *Firmicutes*. Wśród fermentorów dominowały *Parabacteroides*, *Proteiniphilum* i *Catonella*, a wśród elektrogenów - *Clostridium*. Wyniki badań wskazują, że

w układach MFC, w których substratem jest celuloza, dominującym procesem jest rozkład i fermentacja tego polisacharydu, gdyż większość bakterii rozwijających się w układzie wyspecjalizowana jest w tych dwóch procesach. Elektrogeniza zachodzi w mniejszym stopniu, na co wskazuje zarówno skład konsorcjum bakteryjnego, jak i niska produkcja mocy elektrycznej w układzie (maksymalna gęstość mocy wyniosła 44 mW/m^2 ; gęstość prądu 331 mA/m^2). Wykazałam, że hydroliza celulozy i jej fermentacja do kwasu octowego jest najwolniejszym i jednocześnie głównym procesem przebiegającym w układach MFC zasilanych celulożą. Po raz pierwszy zademonstrowano, że jednokomorowa konstrukcja reaktora warunkuje specyficzny skład konsorcjum bakteryjnego, gdyż elektrogeniza i hydroliza celulozy będą w nim jednocześnie. Stąd też w jednokomorowych MFC z katodą powietrzną rozwija się konsorcjum złożone z innych mikroorganizmów niż w sytuacji, gdy hydroliza i elektrogeniza będą niezależnie. Wyniki badań zmiany składu konsorcjum bakteryjnego podczas pracy MFC zasilanego celulożą pozwalają na optymalizację warunków pracy konsorcjum, co może przełożyć się na zwiększenie wydajności produkcji prądu elektrycznego z tego typu substratów.

Bardzo ważnym aspektem badań było wykorzystanie układów typu MFC do oczyszczania ścieków z przemysłu papierniczego z jednoczesną produkcją energii elektrycznej. W artykule [A3] przeanalizowałam ograniczenia konwencjonalnych metod oczyszczania ścieków z przemysłu celulozowo-papierniczego oraz perspektywy rozwoju nowych metod oczyszczania, wśród których technologia MFC jest jedną z najbardziej obiecujących. Przemysł papierniczy jest jednym z największych konsumentów wody, a roczna produkcja ścieków z produkcji celulozowo-papierniczej w skali światowej sięga ok. 3 mld m^3 . Z punktu widzenia środowiskowego zagospodarowanie takiej ilości ścieków jest ogromnym problemem zwłaszcza, że charakteryzują się one wysokim stopniem zanieczyszczenia substancjami organicznymi (ChZT 0,5-115 g/l, zawartość celulozy ok. 11 g/l, zawartość ligniny 11-25 g/l) oraz obecnością związków toksycznych dla mikroorganizmów tj. nadtlenków, fenoli, siarczynów. Popularne obecnie metody oczyszczania ścieków celulozowo-papierniczych charakteryzują się wieloma ograniczeniami i wadami. Na przykład najczęściej wykorzystywana z metod fizykochemicznych koagulacja/flokulacja wiąże się z koniecznością wprowadzenia do oczyszczanych ścieków chemicznych koagulantów, które są źródłem tzw. wtórnego zanieczyszczenia, wytwarzania toksycznego osadu (w przypadku stosowania jako koagulantów soli metali) lub zanieczyszczenia ścieków toksycznymi monomerami (w przypadku stosowania flokulantów

polimerowych). Metody elektrochemiczne czy biologiczne tlenowe charakteryzują się z kolei bardzo wysokim zużyciem energii, sięgającym nawet 11 kWh/kg ChZT. W pracy [A3] przedstawiłam bilans energetyczny obecnie stosowanych metod wykorzystywanych do oczyszczania ścieków celulozowo-papierniczych oraz metod alternatywnych, a także perspektywy zastąpienia metod konwencjonalnych przez technologię MFC. Pokazałam, że zużycie energii w tradycyjnych metodach oczyszczania ścieków może wynosić od 0,2 kWh/kg ChZT w metodach z wykorzystaniem osadu czynnego do nawet 35 kWh/kg ChZT w metodach elektrochemicznych. W technologii MFC zużycie energii wynosi zaledwie 0,02 – 0,07 kWh/kg ChZT, a dodatkowo w trakcie procesu oczyszczania ścieków ma miejsce produkcja energii, obecnie szacowana na maksymalnie 0,17 kWh/kg ChZT. Wykazałam, że technologia MFC pozwala nie tylko na uniknięcie wtórnego zanieczyszczenia ścieków, ale także ma szansę stać się energetycznie samowystarczalną, co w połączeniu z bezpośrednią produkcją energii daje jej przewagę nad metodami obecnie stosowanymi.

Ścieki z przemysłu papierniczego zostały przeze mnie wykorzystane w dalszych badaniach jako substrat do produkcji energii w jednokomorowych układach MFC. Ze względu na wcześniejsze doniesienia dotyczące negatywnego wpływu produktów degradacji ligniny (np. wanilina, katechol, związki fenolowe) na mikroorganizmy zbadalam wpływ dodatku ligniny na parametry pracy MFC^{18,19}. Zastosowany w badaniach dodatek ligniny nie wpłynął na parametry pracy ogniwa, co pozwoliło na weryfikację hipotezy dotyczącej znaczenia adaptacji mikroorganizmów do różnych substratów. Ze względu na fakt, że w ściekach papierniczych występuje wysoka zawartość ligniny (sięgająca nawet 25 g/l) oraz produktów jej rozkładu, bakterie bytujące w tego typu ściekach rozwinęły zdolność adaptacji do niesprzyjających warunków środowiskowych i mogą być wykorzystane w układach MFC zasilanych ściekami toksycznymi dla mikroorganizmów niezaadaptowanych.

Koncepcja wykorzystania technologii MFC do oczyszczania ścieków z przemysłu drzewnego oraz analiza genomowa konsorcjum bakteryjnego w nich występującego jest niewątpliwym novum i stanowi oryginalny wkład do światowej literatury przedmiotu. W pracy [A5] jako substrat wykorzystałam ściek z hydrotermicznej obróbki drewna, wytwarzany na etapie przygotowania surowca do produkcji tworzyw drzewnych – m.in. fornirów i sklejki. Podobnie jak ścieki z przemysłu celulozowo-papierniczego, tak i ścieki z hydrotermicznej obróbki drewna charakteryzują się wysoką zawartością celulozy i ligniny - ok 0,5 g/l ligniny oraz ok. 0,2 g/l rozpuszczonej celulozy (badania własne) oraz produktów ich rozkładu. Ze względu na to, że światowa produkcja tworzyw drzewnych z wykorzystaniem fornirów w

2015 roku przekroczyła 157 mln m³, zagospodarowanie ścieków powstających przy ich produkcji jest istotnym aspektem środowiskowym procesu produkcyjnego. Jednym z etapów procesu produkcji sklejki jest warzenie kłód w basenach warzelnianych z wodą o temperaturze 50-70°C, która utrzymywana jest na stałym poziomie niezależnie od pory roku. Woda z basenów po kilku-kilkunastu miesiącach użytkowania staje się bardzo uciążliwym, trudnym do oczyszczenia ściekiem, szczególnie w zakładach wykorzystujących drewno iglaste. Główną trudnością w wykorzystaniu tego typu ścieków w układach MFC był ich wysoki stopień zanieczyszczenia (ChZT często powyżej 4000 mg O₂/l) oraz obecność toksycznych dla mikroorganizmów produktów rozkładu ligniny oraz kwasów żywicznych¹⁸. Z tego powodu zdecydowałam jako konsorcjum bakteryjne w MFC zastosować bakterie, które rozwinęły się samoistnie w tego typu ściekach, a więc zaadaptowane do trudnych warunków. Głównym pytaniem, które w związku z tym się nasunęło było czy w badanych ściekach warzelnianych z przemysłu drzewnego występują bakterie elektrogenne warunkujące zastosowanie technologii MFC. Analiza składu konsorcjum bakteryjnego obecnego w ściekach z hydrotermicznej obróbki drewna z zastosowaniem metod sekwencjonowania genomowego potwierdziła obecność bakterii opisywanych w literaturze jako potencjalne elektrogeny: *Clostridia* i *Gammaproteobacteria*. Konsorcjum zdominowane było przez bakterie z rodzaju *Thermoanaerobacterium* - *T. aotearoense* oraz *T. thermosaccharolyticum*. Badania wydajności ogniów oraz skuteczności oczyszczania pokazały, że w MFC zasilanych ściekiem z hydrotermicznej obróbki drewna zaobserwowano ubytek ChZT sięgający nawet 90%. Jednocześnie, oczyszczaniu ścieków towarzyszyła produkcja prądu elektrycznego o maksymalnej mocy 71 mW/m², co odpowiadało gęstości prądu 318 mA/m². Przeprowadziłam także nowatorskie badania polegające na wykształceniu w układzie MFC nowego konsorcjum bakteryjnego, utworzonego w wyniku wprowadzenia do reaktora mieszaniny dwóch ścieków: ścieku z hydrotermicznej obróbki drewna oraz ścieku komunalnego. Wyniki analizy genomowej biofilmu, który rozwinął się na anodzie MFC zasilanego mieszaniną ścieków pokazały, że wykształciło się w nim nowe konsorcjum bakteryjne, złożone ze szczepów, które nie występowały w surowych ściekach wprowadzonych do reaktora. Konsorcjum biofilmu anodowego było zdominowane przez *Beta-*, *Alpha-* i *Gammaproteobacteria* oraz *Synergistia* których przedstawiciele zaliczani są do bakterii elektrogennych. Na poziomie genus konsorcjum zdominowane było przez *Hydrogenophilus*, *Anaerobaculum* i *Azorhizophilus*. Termofilowy *Hydrogenophilus*, wykazujący zdolności do rozkładania złożonych substratów, reprezentowany był przez *H. halorhabdus*, *H. hirshii* i *H. denitrificans*. Reprezentanci pozostałych dwóch rodzajów,

Anaerobaculum mobile i *Rhizobium allami* odpowiadają za produkcję elektryczności w MFC. Wykształcenie w MFC nowego konsorcjum uzyskanego z mieszaniny dwóch ścieków (z hydrotermicznej obróbki drewna i komunalnego) zaowocowało znacznym, bo pięciokrotnym w porównaniu do MFC zasilanego jednym rodzajem ścieku, zwiększeniem efektywności produkcji energii do gęstości mocy 360 mW/m^2 odpowiadającej gęstości prądu 1.3 A/m^2 . Wyniki powyższych badań pokazały, że wykształcenie odpowiedniego konsorcjum bakteryjnego pozwala na zwiększenie wydajności prądowej dla określonego substratu. Badania stabilności produkcji bioenergii w czasie pokazały też, że w ciągu 30 dni produkcja prądu utrzymywała się na poziomie $580 \pm 30 \text{ mA/m}^2$ i towarzyszyła jej redukcja ChZT na poziomie $87\% \pm 5$. Wydajność oczyszczania ścieków mierzona ubytkiem ChZT zwiększała się wraz ze wzrostem stężenia mieszaniny dwóch ścieków (hydrotermicznej obróbki drewna i komunalnego). Efekt odwrotny (najlepszą wydajność oczyszczania dla mieszaniny ścieków najbardziej rozcieńczonej) obserwowany był w przypadku, gdy w MFC zastosowano jedynie ściek hydrotermicznej obróbki drewna. Efekt ten związany jest z tym, że w mieszaninie dwóch ścieków stężenie substancji niekorzystnych dla mikroorganizmów występujących w ścieku warzelnianym (produkty rozkładu ligniny) było niższe. Dodatkowo, konsorcjum bakteryjne rozwinięte w mieszaninie ścieków cechuje się znacznie wyższą wydajnością produkcji energii, co związane jest też z lepszym wykorzystaniem substratów dostępnych w użytych ściekach, a temu z kolei towarzyszy ich rozkład związany z redukcją ChZT.

4.3.4 Podsumowanie cyklu publikacji – najważniejsze aspekty nowości naukowej

1. Po raz pierwszy opisano zastosowanie w układzie MFC bakterii wyizolowanych z przewodu pokarmowego termitów do produkcji prądu elektrycznego z celulozy. Wykazałam, że bakterie zaadaptowane do materiału celulozowego cechują się znacznie wyższą efektywnością w wykorzystaniu celulozy jako substratu do produkcji prądu niż bakterie niezaadaptowane. Pokazałam też, że w przypadku bakterii *E. cloacae* aktywność elektrogena realizowana jest za pomocą pili. Potwierdziłam także, że wysoka zawartość fazy amorficznej w substracie celulozowym wpływa korzystnie na wydajność produkcji prądu z tego substratu w układach MFC.
2. Po raz pierwszy wykazano, że w jednokomorowych układach MFC, w których substratem jest celuloza, rozwija się konsorcjum złożone z innych mikroorganizmów

niż w układach dwukomorowych. Spowodowane jest to faktem, że w przypadku MFC jednokomorowych hydroliza celulozy i elektrogeniza zachodzą równocześnie.

3. Technologia MFC została o raz pierwszy została zastosowana do oczyszczania ścieków z przemysłu drzewnego z jednoczesną produkcją prądu elektrycznego. Wykazałam, że wykształcenie nowego konsorcjum bakteryjnego pozwala na pięciokrotne zwiększenie ilości produkowanej energii elektrycznej przy zachowaniu wysokiej wydajności oczyszczania ścieków.
4. Oryginalnym wkładem do literatury przedmiotu jest określenie składu flory bakteryjnej występującej w basenach warzelnianych w zakładach przemysłu drzewnego.
5. Wykazałam na przykładzie ścieku z przemysłu celulozowo-papierniczego, że konsorcja bakteryjne wykształcone w tego typu ściekach są odporne na występujące w nich substancje toksyczne dla niezaadaptowanych do nich mikroorganizmów.
6. Przeprowadzając analizę bilansu energetycznego MFC na tle konwencjonalnych metod oczyszczania ścieków z przemysłu celulozowo-papierniczego wykazałam, że technologia MFC ma szansę stać się energetycznie samowystarczającą, co w połączeniu z bezpośrednią produkcją energii daje jej przewagę nad metodami obecnie stosowanymi.
7. Wykazałam, że konsorcja bakteryjne, które samoistnie rozwinęły się w ściekach z przemysłu drzewnego mogą być skutecznie wykorzystane do oczyszczania tych ścieków z jednoczesną produkcją prądu w układach MFC. Optymalizacja wydajności produkcji energii oraz oczyszczania ścieków w układach MFC może być skutecznie realizowana poprzez poszukiwanie i rozwijanie nowych konsorcjów bakterii różnego pochodzenia przy wykorzystaniu intra- i intergatunkowej konkurencji

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

5.1 Tematyka badań będących przedmiotem mojego zainteresowania przed uzyskaniem stopnia doktora

Przed obroną pracy doktorskiej zajmowałam się głównie zagadnieniami z zakresu elektrochemii - potencjometrii. Prace prowadziłam na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem prof. dr hab. Wojciecha Wróblewskiego. Tematyka moich

badania obejmowała zastosowanie polimerów przewodzących w konstrukcji miniaturowych sensorów potencjometrycznych, a także zastosowanie cieczy jonowych w konstrukcji miniaturowych elektrod referencyjnych. Efektem prac było otrzymanie miniaturowych sensorów potencjometrycznych, w których dodatek polimerów przewodzących pozwolił na polepszenie parametrów pracy, na przykład zwiększenie stabilności sygnału w czasie czy też powtarzalności potencjału elektrod. Badałam też miniaturowe elektrody referencyjne z dodatkiem cieczy jonowej w membranie, które pozwoliły na opracowanie konstrukcji miniaturowego układu elektrod jonoselektywnych, zintegrowanych na wspólnym podłożu z elektrodą referencyjną. W ten sposób z pomiarów udało się wyeliminować konieczność użycia tradycyjnych, makroskopowych elektrod referencyjnych, co znacznie ograniczało ich zastosowanie np. w badaniach biomedycznych, gdzie objętości próbki są niewielkie. Badania prowadzone pod kierunkiem prof. dr hab. Wojciecha Wróblewskiego obejmowały optymalizację składu oraz sposobu nakładania membran w sensorach różnych konstrukcji, a następnie testowanie ich parametrów pracy takich jak czułość, selektywność na różne jony, stabilność potencjału, a także zastosowanie czujników do oznaczeń wybranych jonów w próbkach rzeczywistych. Powyższe eksperymenty doprowadziły do opracowania tanich i prostych w urządzeniach analitycznych mogących znaleźć zastosowanie w zautomatyzowanej analizie chemicznej próbek środowiskowych czy biologicznych. Efektem badań nad miniaturowymi sensorami potencjometrycznymi pod kierunkiem prof. W. Wróblewskiego, jest cykl prac opublikowanych w latach 2004-2008^{20,21,22,23,24,25,26,27}.

W trakcie studiów magisterskich w roku 2004 odbyłam trzymiesięczny staż na Université de Genève, w grupie prof. Jacquesa Buffle, gdzie zajmowałam się pomiarami równowagowego napięcia powierzchniowego związków powierzchniowo czynnych. Badałam wpływ pH i obecności jonów metali na aktywność wybranych związków powierzchniowo czynnych oraz orientację badanych związków na granicy faz olej-woda.

5.2 Tematyka badań będących przedmiotem mojego zainteresowania po uzyskaniu stopnia doktora

Po obronie pracy doktorskiej wygrałam konkurs na stanowisko adiunkta w Katedrze Fizyki na Wydziale Technologii Drewna SGGW w Warszawie i początkowo obszar moich zainteresowań skupiał się na aspektach, które obejmuje swym zakresem biotechnologia medyczna. Badania w których brałam udział dotyczyły opracowania potencjometrycznego

układu pomiarowego pozwalającego na monitorowanie transportu jonów w monowarstwie komórek. Zaburzenia transportu jonowego są przyczyną wielu różnych chorób, także genetycznych, takich jak mukowiscydoza, choroba Lidla czy syndrom Bartera. Układ elektrod pozwalający na pomiar stężenia istotnych fizjologicznie jonów pod wpływem wybranych substancji (modulatorów kanałów jonowych) pozwoliłby na testowanie w warunkach *in vitro* leków na choroby, u podłoża których leżą zaburzenia transportu jonowego. W roku 2012 wyjechałam na staż podoktorski do Finlandii, gdzie w grupie prof. Andrzeja Lewenstama prowadziłam badania nad konstrukcją miniaturowanego zintegrowanego układu elektrod do pomiarów transportu jonowego w nabłonku płuc. Efektem badań pod kierunkiem prof. A. Lewenstama było opracowanie układu elektrod i zaproponowanie mechanizmu transportu jonów potasowych i chlorkowych w monowarstwie komórek nabłonka płuc, czego efektem są dwie publikacje^{28,29}. Opracowanie mechanizmu transportu jonów w danym typie komórek jest punktem wyjściowym do badań nad potencjalnymi substancjami leczniczymi zaburzeń transportu jonowego. W ramach grantów wewnętrznych SGGW dla młodych naukowców zaprojektowałam oraz opracowałam konstrukcję zintegrowanego układu elektrod na stałym podłożu w wersji *solid state*, który został wykorzystany do zbadania transportu jonów chlorkowych w monowarstwie komórek nabłonka jelita, a wyniki opublikowałam w czasopiśmie *Talanta*³⁰.

W latach 2010-2014 brałam także udział w badaniach nad mitochondrialnymi kanałami potasowymi. Badania prowadzone były w Instytucie Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego w Warszawie, w grupie prof. Adama Szewczyka. Najnowsze badania nad mitochondrialnymi kanałami potasowymi potwierdziły, że ich aktywacja wiąże się z funkcją cytoprotekcyjną, co sprawiło, że białka te stały się obiecującym celem terapii farmakologicznych w takich zaburzeniach jak: zawał, udar, arytmia czy nawet nowotwory³¹. Pierwszym etapem badań nad opracowaniem terapii celowanych w mitochondrialne kanały jonowe jest ich identyfikacja oraz dobór aktywatorów/inhibitorów. W Pracowni Wewnątrzkomórkowych Kanałów Jonowych Zakładu Biochemii prowadziłam badania mitochondrialnych kanałów potasowych w keratynocytach przy użyciu techniki *patch clamp*. Przeprowadzone przeze mnie eksperymenty pozwoliły na zidentyfikowanie mitochondrialnego kanału potasowego typu TASK-3 oraz przedstawienie jego charakterystyki prądowo-napięciowej. Badania keratynocytów, w których wyciszono ekspresję genu kodującego kanał TASK-3 pozwoliły stwierdzić, że kanał ten pełni funkcję ochronną w komórkach skóry przed promieniowaniem UVB. Wyniki eksperymentów zostały

opublikowanie w *Journal of Investigative Dermatology* w roku 2014³² i były kontynuowane w Instytucie Biologii Doświadczalnej we współpracy z Instytutem Dr Irena Eris w celu opracowania kosmetyków o działaniu protekcyjnym, spowalniającym uszkodzenia skóry.

Doświadczenia w obszarze nauk chemicznych i biologicznych umożliwiły mi podjęcie w roku 2015 własnej tematyki badawczej, dotyczącej mikrobiologicznych ogniw paliwowych i skierowaniu się w stronę środowiskowych aspektów biotechnologii. Pracując na Wydziale Technologii Drewna SGGW zetknęłam się z potrzebą efektywnego zagospodarowania odpadów z przemysłu drzewnego, co było impulsem do podjęcia badań w tym kierunku z zastosowaniem narzędzi biotechnologicznych. Technologia MFC, podobnie jak inne zagadnienia z zakresu biotechnologii, jest tematem interdyscyplinarnym, łączącym w sobie elementy elektrochemii (reakcje redox w ogniwie) i biologii (mikrobiologia, genetyka) oraz zagadnień czysto biotechnologicznych t.j. wykorzystaniem mikroorganizmów do oczyszczania ścieków. Efektem badań z wykorzystaniem mikrobiologicznych ogniw paliwowych jest cykl publikacji będących podstawą dorobku habilitacyjnego.

5.3 Publikacje naukowe

Mój dorobek obejmuje 25 publikacji o całkowitym **IF = 60.089 (5-letni IF= 76.886)** oraz **662** punktów MNiSW, z czego ok. 68% powstało po doktoracie, a **indeks Hirscha** według Web of Science wynosi **8. Liczba cytowań** według Web of Science **bez autocytoowań: 197.**

Szczegółowy wykaz publikacji zestawiony jest w wykazie dorobku naukowego w załączniku 3.

5.4 Projekty naukowe

Brałam udział w 7 projektach naukowych, w tym w 6 po uzyskaniu stopnia doktora, a w 4 z nich pełniłam funkcję kierownika projektu. Szczegółowy wykaz projektów zestawiony jest w wykazie dorobku naukowego w załączniku 3.

5.5 Udział w konferencjach krajowych i międzynarodowych

Łączna liczba komunikatów na konferencjach krajowych i międzynarodowych w charakterze prelegenta, przewodniczącego sesji lub prezentera posterów wynosi 23. Szczegółowy wykaz konferencji zestawiony jest w wykazie dorobku naukowego w załączniku 3.

5.6 Recenzje

Jestem recenzentem manuskryptów dla czasopism z listy JCR o zasięgu międzynarodowym takich jak: *Sustainability*, *Chemosphere*, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *BioResources*, *Energies*, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, *Electrochemistry Communications*, *Water, Air and Soil Pollution*. Szczegółowy wykaz recenzji znajduje się w wykazie dorobku naukowego w załączniku 3.

5.7 Działalność dydaktyczna

Od 2009 roku prowadzę wykłady (ok. 180 godzin), ćwiczenia rachunkowe (ponad 100 godzin) oraz ćwiczenia laboratoryjne (ponad 1000 godzin) z przedmiotu Fizyka dla następujących kierunków: biotechnologia, biologia, inżynieria ekologiczna, technologia drewna, towaroznawstwo, technologia żywności, budownictwo, meblarstwo, leśnictwo w trybie stacjonarnym i niestacjonarnym.

Byłam kopromotorem w zagranicznym przewodzie doktorskim zakończonym nadaniem stopnia w 2016 r. (Uniwersytet Putra Malezja) oraz jestem promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim realizowanym na Wydziale Technologii Drewna SGGW w Warszawie. Byłam także opiekunem naukowym studentów z Uniwersytetu Putra Malezja odbywających staż na Wydziale Technologii Drewna w roku 2016.

5.8 Działalność organizacyjna

Od roku 2017 pełnię funkcję redaktora technicznego w czasopiśmie *Annals of Warsaw University of Life Sciences – Forestry and Wood Technology*. W roku akademickim 2016/2017 byłam opiekunem roku na kierunku meblarstwo, a od roku 2016 jestem członkiem Wydziałowej komisji ds. zatwierdzania tematów prac dyplomowych i wyznaczania recenzentów.

5.9 Podsumowanie dorobku naukowego

	przed doktoratem	po doktoracie	suma
<i>Liczba publikacji z IF w czasopismach z listy A</i>	7	14	21
<i>Liczba publikacji w czasopismach z listy B</i>	1	3	4
<i>Impact Factor</i>	16.24	43.849	60.089
<i>5-letni Impact Factor</i>	29.687	47.119	76.886
<i>Liczba punktów MNiSW</i>	227	435	662
<i>Liczba cytowań wg Scopus</i>	48	162	210
<i>Liczba cytowań wg WoS</i>	64	152	217
<i>Liczba wystąpień konferencyjnych</i>	8	15	23
<i>Liczba wystąpień konferencyjnych na konferencjach międzynarodowych</i>	2	11	13
<i>Liczba wystąpień konferencyjnych na konferencjach krajowych</i>	6	4	10
<i>Liczba wygłoszonych referatów na sesjach plenarnych</i>	0	3	3
<i>Liczba projektów naukowych</i>	1	6	7
<i>Liczba recenzji w czasopismach JCR</i>	0	25	25

Renata Toczyłowska - Mamińska

Literatura

- ¹ Metz B., Davidson O., de Coninck H., Loos M., Meyer L., IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, 2005, Cambridge University Press, New York
- ² <http://www.energytomorrow.org/blog/2012/01/23/graphically-speaking-future-global-energy>
- ³ Rosillo-Calle F., A review of biomass energy – shortcomings and concerns, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 2016; 91: 1933–1945.
- ⁴ Jung Y. H., Kim I. J., Kim H. K., Kim K. H., Dilute acid pretreatment of lignocellulose for whole slurry ethanol fermentation, *Bioresource Technology* 2013; 132: 109–114.
- ⁵ Qureshi N., Ebener J., Ezeji T.C., Dien B., Cotta M.A., Blaschek H.P., Butanol production by *Clostridium beijerinckii* BA101. Part I: use of acid and enzyme hydrolysed corn fiber. *Bioresource Technology* 2008; 99: 5915–22.
- ⁶ Nievesa D. C., Karimi K., Sárvári Horváth I., Improvement of biogas production from oil palm empty fruit bunches (OPEFB), *Industrial Crops and Products* 2011; 34: 1097– 110.
- ⁷ Logan B.E., Microbial fuel cells, Wiley & Sons, Inc., 2008, Hoboken, New Jersey, USA
- ⁸ Potter, M.C., Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds, *Proceedings of Royal Society of London B: Biological Sciences* 1911; 84: 260–276.
- ⁹ DelDuca M.G., Friscoe J.M., Zurilla R.W., Developments in industrial microbiology. *American Institute of Biological Sciences* 1963; 4: 81–4.
- ¹⁰ Kim B.H., Kim H.J., Hyun M.S., Park D.H., Direct electrode reaction of Fe(III)-reducing bacterium, *Shewanella putrifaciens*, *Journal of Microbiology and Biotechnology* 1999; 9: 127–31.
- ¹¹ Bond D.R., Lovley D.R., Electricity production by *Geobacter sulfurreducens* attached to electrodes. *Applied and Environmental Microbiology* 2003; 69: 1548–55.
- ¹² Pant D., Van Bogaert G., Diels Ll, Vanbroekhoven K., A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology* 2010; 101: 1533–1543.
- ¹³ Habibi, Y., Lucia, L.A., Rojas, O.J., Cellulose nanocrystals: Chemistry, self assembling, and applications. *Chemical Reviews*, 2010; 110: 3479-3500.
- ¹⁴ Rezaei F, Xing D, Wagner R, Regan JM, Richard TL, Logan BE. Simultaneous cellulose degradation and electricity production by *Enterobacter cloacae* in a microbial fuel cell. *Applied and Environmental Microbiology* 2009; 76: 3673–3678.

-
- ¹⁵ Rismani-Yazdi, H.; Christy, A.D.; Dehority, B.A.; Morrison, M.; Yu, Z.; Tuovinen, O.H. Electricity generation from cellulose by rumen microorganisms in microbial fuel cells. *Biotechnology and Bioengineering* 2007; 97: 1398–1407.
- ¹⁶ **Toczyłowska-Mamińska R.**, Madej H., Imaging of anode biofilm in cellulose-fed microbial fuel cell, *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology* 2017; 97: 89-93.
- ¹⁷ Huang, L.; Logan, B.E. Electricity generation and treatment of paper recycling wastewater using a microbial fuel cell. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2008; 80: 349–355.
- ¹⁸ Jonsson L.J., Martin C., Pretreatment of lignocellulose: Formation of inhibitory by-products and strategies for minimizing their effects, *Bioresource Technology* 2016; 199:103–112.
- ¹⁹ **Toczyłowska-Mamińska R.**, Kloch M., Effect of lignin addition on the performance of microbial fuel cell. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology* 2017; 97: 13-16
- ²⁰ Zachara J.E., **Toczyłowska R.**, Pokrop R., Zagórska M., Dybko A., Wróblewski W., Miniaturised all-solid-state potentiometric ion sensors based on PVC membranes containing conducting polymers, *Sensors and Actuators B* 2004; 101: 207-212.
- ²¹ **Toczyłowska R.**, Pokrop R., Dybko A., Wróblewski W., Planar potentiometric sensors based on Au and Ag microelectrodes and conducting polymers for flow-cell analysis, *Analytica Chimica Acta* 2005; 540: 167-172.
- ²² **Mamińska R.**, Dybko A., Wróblewski W., All-solid-state miniaturised planar reference electrode based on ionic liquids, *Sensors and Actuators B* 2006; 115: 552-557.
- ²³ **Mamińska R.**, Wróblewski W., Solid-state microelectrodes for flow-cell analysis based on planar contact transducer, *Electroanalysis* 2006; 18(13-14): 1347-1353.
- ²⁴ **Mamińska R.**, Kucharek M., Józwiak P., Garbarczyk J., Dybko A., Wróblewski W., Ammonium- and nitrite-selective all-solid-state microelectrodes based on AgI-Ag₂O-V₂O₅ glass transducer, *Chemia Analityczna* 2006; 51: 899-907.
- ²⁵ **Mamińska R.**, Kucharek M., Józwiak P., Garbarczyk J., Dybko A., Wróblewski W., AgI-Ag₂O-V₂O₅ glasses as ion-to-electron transducers for the construction of all-solid-state microelectrodes, *Microchimica Acta* 2007; 159(3-4): 311-318.
- ²⁶ Ciosek P., **Mamińska R.**, Dybko A., Wróblewski W., Potentiometric electronic tongue based on integrated array of microelectrodes, *Sensors and Actuators B* 2007; 127: 8-14.

²⁷ **Toczyłowska-Mamińska R.**, Ciok K., Ciosek P., Wróblewski W., Development of the miniaturised electrochemical cell integrated on epoxy-glass laminate, *Microchimica Acta* 2008; 163: 89-95.

²⁸ **Toczyłowska-Mamińska R.**, Dołowy K., Ion transporting proteins of human bronchial epithelium, *Journal of Cellular Biochemistry* 2012; 113:426–432.

²⁹ **Toczyłowska-Mamińska R.**, Lewenstam A., Dolowy K., Multi-electrode bi-sensor system for time-resolved monitoring of ion transport across epithelial cell layer *Analytical Chemistry* 2014; 86 (1): 390–394.

³⁰ **Toczyłowska-Mamińska R.**, Kloch M., Zawistowska-Deniziak A., Bala A. Design and characterization of novel all-solid-state potentiometric sensor array dedicated to physiological measurements, *Talanta* 2016; 159:7-13.

³¹ Leanza L., Zoratti M., Gulbins E., Szabo I., Mitochondrial ion channels as oncological targets. *Oncogene* 2012; 33(40):5569-5581.

³² **Toczyłowska-Mamińska R.**, Olszewska A., Laskowski M., Bednarczyk P., Skowronek K., Szewczyk A., A novel potassium channel in the mitochondria of human keratinocytes, *Journal of Investigative Dermatology* 2014;143(3): 764-772.