

Prof. dr hab. inż. Ewa Liwarska-Bizukojć
Politechnika Łódzka
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych

Łódź, 29.10.2024

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Noska
pt. „Wpływ modyfikacji anody na wytwarzanie energii elektrycznej w
mikrobiologicznych ogniwach paliwowych”
Promotor: prof. dr hab. inż. Agnieszka Cydzik-Kwiatkowska

Podstawą opracowania recenzji jest Uchwała nr 36 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 26 września 2024 w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Dawida Noska oraz pismo Pana prof. dr hab. inż. Marcina Dębowskiego przewodniczącego tej Rady Naukowej z dnia 10.10.2024 z prośbą o wykonanie recenzji wspomnianej wyżej pracy doktorskiej.

Podstawowe informacje o ocenianej rozprawie doktorskiej

Praca doktorska mgr inż. Dawida Noska zatytułowana „Wpływ modyfikacji anody na wytwarzanie energii elektrycznej w mikrobiologicznych ogniwach paliwowych” została przedstawiona w formie cyklu pięciu powiązanych tematycznie, cytowanych poniżej, artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych posiadających *Impact Factor* na dzień publikacji oraz znajdujących się w wykazie czasopism naukowych zamieszczonym w komunikacie Ministra Nauki z dnia 5 stycznia 2024 r. Trzy z pięciu publikacji wchodzących w skład tego cyklu zostały opublikowane w czasopismach wydawnictwa MDPI, a dwie w czasopismach wydawnictwa Springer. Są to następujące prace.

Praca 1 oznaczona jako P1: Nosek D., Jachimowicz P., Cydzik-Kwiatkowska A. (2020). Anode modification as an alternative approach to improve electricity generation in microbial fuel cells. *Energies* 13(24), 6596. (IF: 3,004; MEiN: 140 pkt., obecnie obowiązujący wykaz czasopism Min. Nauki: 140 pkt.)

Praca 2 oznaczona jako P2: Nosek D., Cydzik-Kwiatkowska A. (2020). Microbial structure and energy generation in microbial fuel cells powered with waste anaerobic digestate. *Energies* 13(18), 4712. <https://doi.org/10.3390/su13126818> (IF: 3,004; MEiN: 140 pkt., obecnie obowiązujący wykaz czasopism Min. Nauki: 140 pkt.)

Praca 3 oznaczona jako P3: Nosek D., Samsel O., Pokój T., Cydzik-Kwiatkowska A. (2023). Waste volatile fatty acids as a good electron donor in microbial fuel cell with iron-modified anode. *International Journal of Environmental Science and Technology* 20, 13021–13032. (IF: 3,100, MEiN: 70 pkt., obecnie obowiązujący wykaz czasopism Min. Nauki: 70 pkt.)

Praca 4 oznaczona jako P4: Nosek D., Mikołajczyk T., Cydzik-Kwiatkowska A. (2023). Anode modification with Fe₂O₃ affects the anode microbiome and improves energy generation in microbial fuel cells powered by wastewater. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20(3), 2580. (IF: 4,614; MEiN: 140 pkt., obecnie obowiązujący wykaz czasopism Min. Nauki: 20 pkt.)

Praca 5 oznaczona jako P5: Nosek D., Mikołajczyk T., Cydzik-Kwiatkowska A. (2024). Enhancing microbial fuel cell performance: anode modification with reduced graphene oxide and iron(III) for improved electricity generation. *Clean Technologies and Environmental Policy*. (IF: 4,300; MEiN: 100 pkt., obecnie obowiązujący wykaz czasopism Min. Nauki: 100 pkt.)

Mgr inż. Dawid Nosek deklaruje w swojej pracy, że wartości *IF* podał za Journal Citation Reports™ i pochodzą one z dnia publikacji. Wg tych danych sumaryczny *IF* publikacji wchodzących w skład cyklu stanowiącego rozprawę doktorską wynosi 18,022. Z obowiązku recenzenta muszę dodać, że czasopismo *International Journal of Environmental Research and Public Health* (IJERPH) od roku 2023 wg komunikatu opublikowanego w dniu 22 marca 2023 na stronie wydawnictwa MDPI (źródło <https://www.mdpi.com/about/announcements/5536>; dostęp 28.10.2024), przestało być indeksowane w bazie Web of Science Core Collection i nie ma obliczanego współczynnika wpływu *IF*. Publikacja wchodząca w skład cyklu została opublikowana w IJERPH w dniu 31 stycznia 2023, a zatem przed publikacją wspomnianego wyżej komunikatu MDPI. Łączna liczba punktów ministerialnych za cykl pięciu publikacji wynosi 590 i została obliczona przy słusznym wg mnie założeniu przyjęcia punktacji obowiązującej w dniu publikacji.

Wymienione wyżej prace naukowe zostały uzupełnione o wstęp, cel i zakres badań, hipotezy badawcze, metodykę i wyniki badań, podsumowanie wyników badań i weryfikację hipotez, podsumowanie i wnioski, a także streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wykaz literatury. Po każdym z artykułów naukowych wchodzących w skład cyklu Doktorant zamieścił oświadczenia współautorów wskazujące na ich udział w powstawaniu danego

artykułu. Na stronie nr 3 rozprawy doktorskiej zostały wymienione źródła finansowania badań przeprowadzonych w ramach pracy doktorskiej Pana mgr inż. Dawida Noska. Układ rozprawy doktorskiej oceniam jako logiczny i prawidłowy, a jej zawartość jest w mojej opinii kompletna.

Udział mgr inż. Dawida Noska w przygotowaniu poszczególnych prac naukowych, stanowiących cykl przedłożony do recenzji jako rozprawa doktorska został przedstawiony opisowo. W ten sam sposób zostały scharakteryzowane udziały pozostałych współautorów. Indywidualny wkład Doktoranta polegał na opracowywaniu koncepcji badań, pozyskaniu, interpretacji i opracowywaniu wyników badań, a także na przygotowaniu pierwszej wersji manuskryptu publikacji naukowej. Dotyczy to każdej z pięciu publikacji wchodzących w skład cyklu. Oznacza to, że Pan mgr inż. Dawid Nosek uczestniczył w każdym etapie powstawania publikacji naukowych stanowiących Jego pracę doktorską, co świadczy o właściwym zaangażowaniu i udziale w pracy naukowej zmierzającej do uzyskania stopnia doktora nauk technicznych. Doktorant był autorem korespondującym, a także pierwszym autorem w każdej z pięciu prac naukowych stanowiących cykl publikacji, co potwierdza Jego istotną rolę w powstaniu każdego z tych artykułów naukowych.

Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Badania nad wykorzystaniem mikroorganizmów jako biokatalizatorów w ogniwach paliwowych zintensyfikowały się w ciągu ostatnich dwóch dekad. Wynika to najprawdopodobniej z kurczących się zasobów surowców energetycznych, a także z uświadomienia sobie zmian klimatycznych spowodowanych emisją tzw. gazów cieplarnianych. Mikrobiologiczne ogniwa paliwowe (MFC) umożliwiają pozyskanie energii elektrycznej z różnorodnych substancji organicznych, w tym z niektórych rodzajów ścieków i odpadów, co powinno przyczynić się do zamykania obiegu materii zgodnie z zasadami gospodarki cyrkularnej. Ponadto mogą działać w szerokim zakresie temperatur (warunki mezofilne i termofilne), a ich działanie nie powoduje powstawania tak znacznych ilości gazów cieplarnianych, jak w przypadku paliw kopalnych. Dlatego podjęcie przez Pana mgr inż. Dawida Noska badań nad MFC zasilanych ściekami komunalnymi lub odpadowymi krótkołańcuchowymi kwasami tłuszczowymi (KKT) uważam za przedsięwzięcie niezwykle aktualne i potrzebne w czasach dążenia do gospodarki obiegu zamkniętego. Wybór tematu jest w pełni uzasadniony merytorycznie i ważny zarówno z naukowego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia.

Celem rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Noska było określenie wpływu modyfikacji anody na produkcję energii elektrycznej i skład mikrobiologiczny błony biologicznej na anodzie ogniwa mikrobiologicznego, zasilanego ściekami komunalnymi lub odpadowymi KKT z fermentacji beztlenowej osadów wstępnych. Zakres pracy był bardzo szeroki i obejmował 1) ocenę wpływu wielkości anody, skutkującej różnym ładunkiem związków organicznych (ŁZO), na wytwarzanie energii elektrycznej oraz skład gatunkowy mikrobiomu anodowego w MFC; 2) wpływ modyfikacji anody Fe_2O_3 na wytwarzanie energii elektrycznej, usuwanie związków organicznych i skład gatunkowy mikrobiomu anodowego w MFC; 3) wpływ modyfikacji anody zredukowanym tlenkiem grafenu (rGO) i kompozytem rGO/Fe na wytwarzanie energii elektrycznej, usuwanie związków organicznych i skład gatunkowy mikrobiomu anodowego w MFC. Doktorant postawił cztery następujące hipotezy badawcze: 1) wielkość anody wpływa na wytwarzanie energii elektrycznej (H1); 2) odpadowe KKT mogą być wykorzystane do produkcji energii w MFC (H2); 3) modyfikacja anody Fe_2O_3 wpływa na moc elektryczną generowaną w MFC oraz efektywność usuwania substancji organicznych i skład gatunkowy mikrobiomu anodowego (H3); 4) modyfikacja anody rGO i kompozytem rGO/Fe wpływa na moc elektryczną generowaną w MFC oraz efektywność usuwania substancji organicznych i skład gatunkowy mikrobiomu anodowego (H4). Sformułowane przez Doktoranta cele, hipotezy i zakres badań są według mnie zgodne z tematem pracy doktorskiej i posiadają cechy nowości naukowej.

Badania przeprowadzone w ramach recenzowanej rozprawy doktorskiej zostały podzielone na trzy etapy. W każdym z nich badania były prowadzone w dwukomorowym MFC z membraną protonowymienną (PEM), zmienne natomiast były m.in. powierzchnia katody i anody, powierzchnia membrany, sposób modyfikacji anody, źródło substancji organicznych, czy wreszcie inokulum. Oprócz podstawowych oznaczeń fizykochemicznych jak ChZT, pH, LKT, N-NH_4^+ , pomiarów niezbędnych do charakterystyki wydajności pracy MFC (m.in. wyznaczenie krzywych mocy i polaryzacji, pomiar napięcia, oporu) Doktorant oznaczał skład mikrobiomu anodowego wykorzystując metody biologii molekularnej (wysokosprawne sekwencjonowanie), oznaczał skład KKT z zastosowaniem metod chromatograficznych, a w pracy P5 oszacował potencjał metaboliczny błony biologicznej anod z pomocą narzędzia bioinformatycznego PICRUS_t i baz danych KEGG i Cluster of Orthologous Groups (COG). Według mnie przyjęta przez Doktoranta metodyka badań jest odpowiednia do tematu pracy i pozwoliła Mu osiągnąć wyznaczone cele pracy oraz zweryfikować postawione hipotezy badawcze. Chciałabym w tym miejscu podkreślić, że podjęte badania były szeroko zakrojone i wymagały zastosowania różnorodnych analiz

fizykochemicznych, elektrochemicznych, mikrobiologicznych i bioinformatycznych. Ponadto Autor dysertacji przeprowadził analizę statyczną uzyskanych wyników badań z pomocą testów statystycznych zaimplementowanych w programie Statistica13.3, StatSoft. Przedstawiona do recenzji praca udowadnia, że Doktorant bardzo dobrze poradził sobie z zastosowaniem różnorodnych metod analitycznych i statystycznych, co świadczy o Jego wszechstronności i solidnym przygotowaniu do pracy naukowej.

W pierwszym etapie badań Doktorant oceniał wpływ wielkości powierzchni anody na wytwarzanie energii elektrycznej w MFC, a także sprawdzał możliwości wykorzystania mieszaniny odpadowych KKT pochodzących z oczyszczalni ścieków „Łyna” w Olsztynie jako źródła substancji organicznej w MFC (P2). Poddał tym samym weryfikacji dwie pierwsze hipotezy pracy doktorskiej (H1 i H2). Doktorant wykazał, że zwiększenie powierzchni anody nie spowodowało zwiększenia produkcji energii elektrycznej w badanych dwukomorowych MFC (P2). Wskazał też prawdopodobną przyczynę tego zjawiska, a mianowicie bardzo małą powierzchnię membrany w stosunku do powierzchni anody i objętości MFC. Doktorant wykazał, że niezależnie od wielkości anody *Clostridium* sp. i egzoelektrogeny z rodzaju *Desulfohalobium* i *Acinetobacter* licznie występowały w mikrobiomie MFC (P2). Większa powierzchnia anody miała wpływ na stopień usunięcia ChZT, który podczas stabilnej pracy ogniwa wynosił około 85% i był istotnie wyższy niż w ogniwie o dwukrotnie mniejszej powierzchni (P2).

Drugi etap badań składał się z dwóch części. W pierwszej z nich anodę modyfikowano Fe_2O_3 stosując jedną dawkę równą $2,5 \text{ g/m}^2$, a źródłem substancji organicznych były odpadowe KKT (P3). W drugiej części badań Doktorant zastosował cztery różne dawki Fe_2O_3 do modyfikacji anody od $1,25$ do $10 \text{ g Fe}_2\text{O}_3/\text{m}^2$, a MFC były zasilane ściekami syntetycznymi o składzie zbliżonym do ścieków komunalnych (P4), których ChZT wynosiło około $400 \text{ mg O}_2/\text{l}$. W pracach P3 i P4 Doktorant zweryfikował hipotezę H3. Zastosowana w pierwszej części badań modyfikacja anody Fe_2O_3 przyczyniła się do lepszego transferu elektronów do anody, co z kolei spowodowało wzrost wartości gęstości mocy, gęstości prądu i napięcia odpowiednio 3,6-krotnie, 1,8-krotnie i 1,4-krotnie w stosunku do MFC z anodą kontrolną niemodyfikowaną (P3). Modyfikacja zastosowana w pierwszej części badań w etapie 2. wpłynęła też korzystnie na zmiany w składzie mikrobiomu anody, w którym zwiększył się udział mikroorganizmów elektrogennych, takich jak *Pseudomonas* sp. i *Geothrix* sp., a także bakterii biorących udział w degradacji KKT, takich jak *Acidovorax* sp., *Brevundimonas* sp. i *Leucobacter* sp., w porównaniu do układu kontrolnego. Nie mniej jednak ten większy udział bakterii zdolnych do degradacji KKT nie przyczynił się do uzyskania

wyższych poziomów usunięcia KKT ani też ChZT w MFC modyfikowanym Fe_2O_3 . W MFC kontrolnym stopień usunięcia KKT wynosił $60,4 \pm 16,9\%$, a ChZT $54,3 \pm 9,8\%$, podczas gdy w MFC z anodą modyfikowaną Fe_2O_3 było to odpowiednio $50,2 \pm 26,3\%$ i $48,8 \pm 9,5\%$.

W drugiej części badań etapu drugiego Doktorant poszukiwał optymalnej dawki Fe_2O_3 do modyfikacji anody (P4). Okazało się, że obecność Fe (III) przyczyniła się do lepszego transferu elektronów i zmniejszenia oporu wewnętrznego ogniwa. W efekcie modyfikacja anody Fe_2O_3 w dawce od $1,25$ do 5 g/m^2 poprawiła wytwarzanie energii elektrycznej w stosunku do układu kontrolnego. Najwyższą gęstość mocy odnotowano w MFC, w których anodę modyfikowano dawkami $2,5$ oraz $5 \text{ g Fe}_2\text{O}_3/\text{m}^2$ i była ona 2.8 razy wyższa niż w układzie kontrolnym. Doktorant stwierdził także, że usuwanie materii organicznej wyrażonej jako ChZT było skuteczniejsze przy zastosowaniu niższych dawek Fe_2O_3 , to jest $1,25$ i $2,5 \text{ g/m}^2$. Wówczas poziomy usunięcia ChZT wynosiły odpowiednio $84 \pm 10,1\%$ i $85,5 \pm 14\%$, a wartość ChZT w ściekach oczyszczonych $29,5 \pm 14,9$ i $30,8 \pm 7,6 \text{ mgO}_2/\text{l}$. Te ostatnie wartości były statystycznie istotnie niższe niż w pozostałych badanych w tej części pracy ogniwach mikrobiologicznych. Odnośnie badań nad składem mikrobiomów stwierdzono, że modyfikacja anody Fe_2O_3 przyczyniła się do zwiększenia udziału mikroorganizmów wytwarzających polimery zewnątrzkomórkowe z rodzajów *Zoogloea* i *Acidovorax*, co sprzyjało tworzeniu błony biologicznej. W mikrobiomach anod modyfikowanych dawkami $1,25$ i $2,5 \text{ g Fe}_2\text{O}_3/\text{m}^2$ dominującymi bakteriami, najprawdopodobniej odpowiedzialnymi za produkcję energii elektrycznej były *Pseudomonas* sp., *Oscillochloris* sp. i *Rhizobium* sp., a przy dawkach 5 i $10 \text{ g Fe}_2\text{O}_3/\text{m}^2$ były to *Dechloromonas* sp. i *Desulfobacter* sp. Uwagę Doktoranta w tej części badań zwrócił też wysoki procent niezidentyfikowanych bakterii wynoszący do 44% w MFC modyfikowanym dawką $1,25 \text{ g Fe}_2\text{O}_3/\text{m}^2$, wśród których mogły też być bakterie aktywne w procesach wytwarzania energii elektrycznej.

W trzecim ostatnim etapie badań Doktorant zastosował inną niż dotychczas modyfikację anody, a mianowicie w jednym z MFC do modyfikacji użył zredukowany tlenek grafenu (MFC-rGO), a w dwóch kolejnych MFC kompozyt rGO/Fe (MFC-rGO/Fe₃₄; MFC-rGO/Fe₆₈) i tym samym poddał weryfikacji hipotezę H4 (P5). We wszystkich ogniwach mikrobiologicznych zastosowana została ta sama dawka rGO, a dwa ogniwa modyfikowane kompozytem rGO/Fe różniły się dawką żelaza użytą do modyfikacji. Dawka ta wynosiła 34 i 68 mg Fe ($0,85$ i $1,7 \text{ g/m}^2$ anody) na powierzchnię anody. Substratem każdorazowo były ścieki syntetyczne o ChZT około $180 \text{ mg O}_2/\text{l}$ z octanem sodu ($0,3 \text{ g/l}$) jako źródłem węgla (P5). Zastosowane modyfikacje anody przyczyniły się do znaczącego, nawet czterokrotnego, obniżenia oporu wewnętrznego. Wynosił on 540Ω w MFC kontrolnym, 260Ω w MFC-rGO,

390 Ω w MFC-rGO/Fe₃₄ i 132 Ω w MFC-rGO/Fe₆₈. Największą gęstość mocy ogniwa, wynoszącą 8,55 mW/m², uzyskano w MFC-rGO/Fe₆₈ i była ona 42,2-, 3,0- i 7,9-krotnie wyższa niż w przypadku odpowiednio MFC kontrolnego, MFC-rGO i MFC-rGO/Fe₃₄. Stopień usunięcia ChZT utrzymywał się na podobnym poziomie we wszystkich ogniwach. Stosunkowo najniższy średni stopień usunięcia odnotowano w MFC kontrolnym (około 50%), a najwyższy w ogniwie MFC-rGO - około 65%. Odnośnie składu mikrobiomu anody, to liczebność *Dechloromonas* sp. i *Zooglea* sp., posiadających potencjał do przenoszenia elektronów na anodę, była wyższa w MFC ze zmodyfikowanymi anodami niż w kontroli. Charakterystyka metaboliczna mikrobiomów MFC wykazała, że najwyższy potencjał w odniesieniu do produkcji energii i konwersji miała biomasa zasiedlająca anodę w ogniwie MFC-rGO/Fe₃₄, (P5). Ponadto okazało się, że główne szlaki metaboliczne prowadzące do usuwania substancji organicznych oraz produkcji energii elektrycznej były związane z odwróconym cyklem Krebsa (P5).

Warto też wspomnieć, że pierwsza z prac wchodzących w skład cyklu zamieszczonego w dysertacji (P1) to artykuł przeglądowy na temat materiałów, z których mogą być produkowane anody w MFC i metod/materiałów stosowanych do ich modyfikacji. Celem tej pracy była ocena wpływu modyfikacji elektrod za pomocą tlenków metali, nanomateriałów węglowych, czy polimerów na pracę ogniów mikrobiologicznych. Przegląd literatury pozwolił stwierdzić, że modyfikacja anod wysoko przewodzącymi nanomateriałami węglowymi z polimerami (np. polianilina) oraz materiałami węgl pochodnymi (np. GO czy nanorurki węglowe) zwiększa hydrofilowość i powierzchnię właściwą anod przyczyniając się do wyższej produkcji energii elektrycznej niż w przypadku innych analizowanych w pracy P1 rozwiązań. Przeprowadzenie tego przeglądu literatury było w mojej ocenie trafnym merytorycznie posunięciem, gdyż pozwoliło uporządkować i poszerzyć wiedzę na temat MFC, ale przede wszystkim pomogło Doktorantowi w doborze metod modyfikacji anody i w realizacji prac eksperymentalnych.

Podsumowując ocenę merytoryczną pracy doktorskiej mgr inż. Dawida Noska, uważam, że Doktorant zrealizował postawiony na początku pracy cel badawczy, to jest określił wpływ modyfikacji anody na produkcję energii elektrycznej i skład mikrobiologiczny błony biologicznej wytworzonej na anodzie MFC. Przeprowadzone badania pozwoliły Mu na zweryfikowanie czterech hipotez badawczych postawionych na początku doktoratu. Mgr inż. D. Nosek wykazał, że powlekanie anody Fe₂O₃, rGO lub kompozytem rGO/Fe przyczynia się do obniżenia oporu wewnętrznego ogniwa i zwiększa gęstość mocy elektrycznej MFC w porównaniu z kontrolą. Wykazał również, że zastosowane w pracy modyfikacje anody

(Fe₂O₃, rGO, rGO/Fe) mają korzystny wpływ na mikrobiom błony biologicznej immobilizowanej na anodzie MFC, gdyż przyczyniają się do zwiększenia udziału bakterii egzoelektrogennych. Ponadto Doktorant udowodnił, że możliwe jest zastosowanie odpadowych KKT z fermentacji osadów wstępnych do produkcji energii elektrycznej w MFC.

Uważam, że wszystkie wymienione powyżej dokonania stanowią oryginalny wkład mgr inż. Dawida Noska w rozwiązanie problemu naukowego, który postawił sobie na początku realizacji pracy doktorskiej, a także poszerzają wiedzę na temat budowy, działania i zastosowania ogniów mikrobiologicznych.

Ocena formalna pracy

Według mnie praca jest dobrze przygotowana pod względem formalnym. Język, którego używa Doktorant, zarówno w opisie będącym wprowadzeniem do cyklu publikacji, jak i w samych publikacjach (od P1 do P5), jest zrozumiały i reprezentuje wysoki poziom naukowy. Wyniki badań zostały poddane analizie statystycznej, a następnie przedstawione w tabelach i na wykresach. Według mnie szkoda, że Doktorant nie przygotował zbiorczej tabeli podsumowującej rezultaty Jego rozległych badań i nie zamieścił jej we wprowadzeniu do cyklu publikacji. Wydaje mi się, że taka tabela zawierająca w poszczególnych kolumnach kolejno m.in. informacje o budowie MFC, w tym zastosowanych modyfikacjach, o źródle węgla, inokulum, wartościach średniej i maksymalnej gęstości mocy MFC, oporze wewnętrznym, stopniu usunięcia ChZT, byłaby bardzo przydatna dla czytelnika, a samemu Doktorantowi łatwiej byłoby wyciągnąć uogólniony wniosek lub wnioski z pracy. Równocześnie chciałabym podkreślić, że zamieszczone w publikacjach od P1 do P5 tabele i wykresy są czytelne i odpowiednie do przedstawianej treści. Każda z opublikowanych prac oryginalnych (od P2 do P5) zaopatrzona jest w suplement zawierający tabele, wykresy, obrazy mikroskopowe, które doskonale dokumentują przeprowadzone przez Doktoranta badania.

Doktorant korzystał z wielu, odpowiednio dobranych do tematu pracy źródeł literaturowych. Były to prawie wyłącznie artykuły naukowe opublikowane w renomowanych czasopismach posiadających wysoki współczynnik wpływu (*IF*). W każdym z artykułów naukowych wchodzących w skład cyklu Doktorant skorzystał z co najmniej kilkudziesięciu źródeł literaturowych. Literatura cytowana obejmowała od 53 (P3) do 155 (P1) pozycji. Były to z reguły prace publikowane w ciągu ostatnich pięciu lat, to jest od 2019 do 2023 roku.

Świadczy to jednoznacznie o aktualności podjętego przez Doktoranta tematu badań, a także potwierdza, że Kandydat korzystał z najnowszych osiągnięć naukowych.

Uwagi dyskusyjne do rozprawy doktorskiej

Choć rozprawę doktorską mgr inż. Dawida Noska oceniam jednoznacznie pozytywnie i jestem pod wrażeniem Jego wszechstronnych umiejętności, zakresu przeprowadzonych badań, to mam cztery uwagi dyskusyjne, będące równocześnie pytaniami do Doktoranta.

Dlaczego w każdym z trzech etapów badań eksperymentalnych było tyle zmiennych? Zmieniało się m.in. inokulum, substrat (źródło węgla), sposób modyfikacji anody, powierzchnia membrany. Według mnie tak duża liczba zmiennych w przeprowadzonych eksperymentach utrudnia sformułowanie wniosków.

Druga uwaga wiąże się z pierwszą i dotyczy inokulum. Wiadomo, że inokulum determinuje przebieg procesu biologicznego i ma wpływ na skład ukształtowanego w procesie mikrobiomu. W pracy P2 inokulum stanowił osad granulowany z oczyszczalni ścieków w Lubawie, w P3 – osad beztlenowy z oczyszczalni ścieków „Łyna” w Olsztynie, w P4 – mieszanina osadu beztlenowego z oczyszczalni ścieków „Łyna” i osadu z fermentacji metanowej z bioreaktora laboratoryjnego; w P5 – mieszanina osadów z oczyszczalni ścieków „Łyna” w Olsztynie. Dlaczego stosowano tyle różnych inokulów? Jakimi przesłankami kierował się Doktorant przy wyborze osadu granulowanego jako inokulum w pierwszym etapie badań? Które inokulum ocenia Doktorant jako najwłaściwsze do zastosowania w ogniach mikrobiologicznych? Czy kultury mieszane zdaniem Doktoranta lepiej sprawdzają się w ogniach mikrobiologicznych niż czyste kultury?

W pierwszym etapie badań i w pierwszej części drugiego etapu Doktorant wykorzystywał odpadowe KKT jako substrat dla mikroorganizmów. Skoro ten substrat się sprawdził, to, dlaczego w dalszych badaniach zrezygnowano z niego na rzecz ścieków syntetycznych.

Czwarta uwaga dotyczy zależności pomiędzy składem mikrobiomu anody a wytwarzaniem energii elektrycznej. Czy udało się w poszczególnych etapach badań albo globalnie zauważyć zależność pomiędzy liczebnością/udziałem bakterii elektrogennych w błonie biologicznej a gęstością mocy?

Prosiłabym, żeby Doktorant ustosunkował się na publicznej obronie do tych czterech uwag.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Chciałabym podkreślić, że wymienione powyżej uwagi nie mają wpływu na moją ogólną bardzo wysoką ocenę niniejszej rozprawy doktorskiej. Według mnie spełnia ona z powodzeniem wymagania stawiane pracom doktorskim i wnosi oryginalny wkład w rozwój inżynierii środowiska.

Podsumowując recenzję stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Dawida Noska spełnia wymogi określone w stosownych przepisach Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1668 z późn. zm.). W związku z tym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o dopuszczenie Pana mgr inż. Dawida Noska do dalszych przewidzianych przepisami etapów postępowania doktorskiego.

Edyta Aneta Białko