



Poznań, 8.09.2026 r.

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mikity Davykozy**

z tytułu

**„Zjawiska transportu masy, ładunku i ciepła w mikrofluidalnych ogniwach  
fotoelektrochemicznych”**

opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Chemicznej

Politechniki Wrocławskiej

prof. dr hab. inż. Izabeli Michalak

(pismo RDND05/197/2024-2028 z dnia 02.07.2026 r.)

***Informacje ogólne i ocena tematyki rozprawy doktorskiej***

Dysertacja doktorska mgr. inż. Mikity Davykozy została zrealizowana na Wydziale Chemii Politechniki Wrocławskiej, pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Juliusza Winiarskiego, uznanego fachowca w dziedzinie elektrochemii, inżynierii powierzchni czy technologii powłokowych.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska skoncentrowana jest na badaniach dotyczących zjawisk transportu masy, ładunku i ciepła, zachodzących w mikrofluidalnych ogniwach fotoelektrochemicznych, ze szczególnym uwzględnieniem barwnikowych ogniw słonecznych (DSSC, z ang. *Dye-Sensitized Solar Cells*). Tematyka rozprawy umiejscowiona jest na pograniczu inżynierii chemicznej, elektrochemii oraz mikrofluidyki. Takie interdyscyplinarne podejście należy uznać za szczególnie interesujące, ponieważ umożliwia analizę ogniwa fotoelektrochemicznego nie tylko jako urządzenia do konwersji energii promieniowania słonecznego, ale również jako układu, którego funkcjonalność wynika ze wzajemnie sprzężonych zjawisk transportu, obejmujących m.in. transport ładunku, masy i energii. Problematyka wykorzystania energii promieniowania słonecznego należy do intensywnie rozwijanych kierunków współczesnych badań naukowych i prac technologicznych. Poszukiwanie rozwiązań pozwalających na zwiększenie sprawności konwersji energii, poprawę stabilności pracy oraz ograniczenie kosztów wytwarzania urządzeń fotowoltaicznych powoduje zainteresowanie nie tylko nowymi materiałami, ale również alternatywnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi urządzeń. W tym kontekście zastosowanie mikrofluidyki w konstrukcji barwnikowych ogniw słonecznych stanowi interesujący kierunek badawczy, pozwalający na kontrolowanie warunków transportu elektrolitu, a tym samym na modyfikowanie warunków zachodzenia procesów elektrochemicznych i cieplnych. Szczególnie istotne znaczenie w tym aspekcie mają zagadnienia dotyczące transportu masy, ładunku i ciepła. Zjawiska te nie występują w badanym układzie niezależnie. Transport elektrolitu wpływa na dostarczanie reagentów i odprowadzanie produktów reakcji, transport jonów determinuje warunki pracy układu elektrochemicznego, natomiast temperatura może wpływać zarówno na właściwości fizykochemiczne elektrolitu, jak i kinetykę procesów zachodzących w ogniwie. Tym samym

kompleksowa analiza tych zjawisk jest uzasadniona pod kątem zarówno poznawczym, jak i aplikacyjnym.

W tym kontekście, na szczególne podkreślenie zasługuje próba połączenia zagadnień typowych dla fotowoltaiki z klasycznymi problemami inżynierii chemicznej i procesowej, którą w swoich badaniach podejmuje mgr inż. Mikita Davykoza. Wprowadzenie kontrolowanego mikroprzepływu do układu DSSC stwarza możliwość wpływania na warunki transportu masy i ciepła, a jednocześnie otwiera możliwość projektowania konstrukcji o odmiennej architekturze niż klasyczne ogniwa DSSC. Szczególnie interesująca jest także analiza konfiguracji typu *gapless* (bez przerwy międzyelektrodowej), której potencjalną zaletą jest ograniczenie oporów transportu związanych z geometrią układu.

W mojej ocenie tematyka rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mikity Davykozy jest aktualna, interdyscyplinarna i uzasadniona naukowo, a uzyskane przez Autora pracy wyniki mogą stanowić platformę zarówno dla rozwoju wiedzy dotyczącej mikrofluidalnych układów fotoelektrochemicznych, jak i dla projektowania nowego typu urządzeń do konwersji energii. Za użyteczny należy uznać potencjalny aspekt aplikacyjny pracy. Opracowanie układu umożliwiającego jednoczesną konwersję energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną oraz wykorzystanie energii cieplnej, może wpisywać się w szerszy nurt badań nad zwiększeniem całkowitej efektywności energetycznej systemów wykorzystujących/konwertujących promieniowanie słoneczne.

### ***Charakterystyka rozprawy doktorskiej***

Oceniana rozprawa doktorska została przygotowana w języku polskim i przedstawiona na 103 stronach maszynopisu. Układ dysertacji jest klasyczny i obejmuje streszczenie, część teoretyczną, część eksperymentalną, prezentację i dyskusję wyników oraz wnioski.

Pierwszy element pracy stanowi *Streszczenie* w języku polskim i angielskim, w którym Autor przedstawia postawiony problem badawczy, ze wskazaniem założonych celów do zrealizowania.

We *Wstępie teoretycznym* Autor pracy przytoczył zagadnienia związane ze współczesną energetyką, odnawialnymi źródłami energii, fotowoltaiką, ogniwami DSSC, mikrofluidyką oraz zjawiskami transportu masy i ciepła. Taki układ pracy pozwala czytelnikowi stopniowo przejść od zagadnień ogólnych do problematyki będącej bezpośrednim przedmiotem badań. Za szczególnie wartościowe uważam przedstawienie podstaw działania ogniw DSSC oraz omówienie procesów zachodzących w tego typu układach. Uwzględnienie w tym aspekcie transportu elektronów, procesów rekombinacji oraz transportu elektrolitu stanowi właściwe przygotowanie do dalszej analizy wyników. Pozytywnie należy również ocenić wprowadzenie do problematyki mikrofluidyki. Analiza przepływów laminarnych, zjawisk transportu oraz wymiany ciepła pozwala umiejscowić analizowane ogniwo fotoelektrochemiczne w szerszym kontekście inżynierii procesowej, uwzględniając wzajemne oddziaływanie procesów transportu masy, ładunku i energii. Jednocześnie, proporcje poszczególnych zagadnień w części teoretycznej można uznać za dyskusyjne. Wprowadzenie dotyczące światowej energetyki i technologii wytwarzania energii jest obszerne w stosunku do zasadniczego problemu rozprawy. Z punktu widzenia tematyki dysertacji doktorskiej, dotyczącej zjawisk transportu w mikrofluidalnych ogniwach DSSC, w mojej opinii, bardziej wartościowe byłoby poświęcenie więcej miejsca we *Wstępie teoretycznym* na pogłębioną analizę najnowszych rozwiązań konstrukcyjnych jeżeli chodzi o mikrofluidalne ogniwa fotoelektrochemiczne. Pewien niedosyt pozostawia również sposób przedstawienia aktualnego stanu wiedzy dotyczącego bezpośrednio mikrofluidalnych barwnikowych ogniw słonecznych.

W szczególności przydatne byłoby szersze porównanie różnych rozwiązań kanałów, konfiguracji elektrod, sposobów prowadzenia przepływu elektrolitu czy metod umożliwiających ograniczenie oporów podczas transportu. Za istotne uzupełnienie części literaturowej można byłoby uznać również bardziej jednoznaczne wskazanie luki badawczej, z której wynikałyby postawione cele i hipoteza badawcza. Szczególnie istotne jest nie tylko przedstawienie tego, co zostało już opublikowane, ale także wskazanie problemów, których dotychczas nie rozwiązano i sposobów jak je rozwiązać m.in. poprzez rezultaty badań zrealizowane przez Doktoranta. Dodatkowo, warto byłoby również szerzej skonfrontować uzyskane zależności z najnowszymi doniesieniami literaturowymi dotyczącymi mikrofluidalnych układów fotoelektrochemicznych.

W mojej opinii mocnym elementem prezentowanej rozprawy jest *Część eksperymentalna*, w której Autor pracy skoncentrował się na określeniu celu naukowego, postawieniu hipotezy, opisie stanowiska badawczego, charakterystyce ogniwa z mikroprzepływowym wymiennikiem ciepła oraz zastosowanych technik badawczych. W mojej ocenie cel rozprawy został sformułowany w sposób spójny i wskazuje na wielokierunkowe podejście Doktoranta do analizowanego zagadnienia. Autor pracy koncentruje się na analizie wpływu warunków przepływu oraz konstrukcji mikrofluidalnego ogniwa na transport masy, ładunku i ciepła, a w konsekwencji na parametry elektryczne układu. Na podkreślenie zasługuje interdyscyplinarne podejście do problemu badawczego, które obejmuje m.in.: opracowanie konstrukcji mikrofluidalnego ogniwa DSSC, analizę konfiguracji *gap* i *gapless*, określenie wpływu warunków przepływu elektrolitu, analizę wpływu powierzchni oświetlanej, analizę zjawisk cieplnych czy wykorzystanie mikroprzepływowego wymiennika ciepła. Tak szeroki zakres analiz świadczy o kompleksowym i wieloaspektowym podejściu mgr. inż. Mikity Davykozy do sformułowanego problemu badawczego. Postawiona przez Doktoranta hipoteza badawcza wiąże ograniczenie oporów transportu masy poprzez zastosowanie konfiguracji *gapless* oraz odpowiednie ograniczenie powierzchni oświetlanej ze zwiększeniem sprawności ogniwa. Hipotezę tę można uznać za poprawną i możliwą do weryfikacji eksperymentalnej. W bardziej rozbudowanej formie mogłaby wskazywać, który mechanizm transportu powinien ulec zmianie oraz jaki efekt ilościowy powinien być obserwowany. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że Autor nie ograniczył się do wykorzystania standardowego układu pomiarowego, lecz opracował własną konstrukcję mikrofluidalnego ogniwa oraz dedykowane stanowisko badawcze umożliwiające kontrolę podstawowych parametrów pracy układu. Unikatową zaletą rozwiązania zaproponowanego przez mgr. inż. Mikitę Davykozy jest możliwość badania, w ramach jednego stanowiska, wpływu przepływu elektrolitu, temperatury, natężenia promieniowania, powierzchni aktywnej, czy konfiguracji elektrod, na parametry pracy ogniwa DSSC. Takie podejście podkreśla interdyscyplinarny charakter prac eksperymentalnych.

W dalszej części pracy Autor prezentuje *Wyniki badań eksperymentalnych*, dokonuje ich dyskusji oraz formułuje wynikające z nich wnioski. Całość pracy wieńczy *Dorobek naukowy* oraz *Bibliografia*, obejmująca 111 pozycji literaturowych. Przedstawione w pracy zagadnienia teoretyczne i eksperymentalne zostały zaprezentowane w formie 38 rysunków i 6 tabel.

### ***Ocena rozprawy doktorskiej, osiągnięć Doktoranta oraz kwestie dyskusyjne***

Analizując tok postępowania oraz osiągnięcia poszczególnych etapów prac doświadczalnych, nie podlega wątpliwości, że mgr inż. Mikita Davykozy podjął się rozwiązania ambitnego i oryginalnego problemu badawczego, o istotnym znaczeniu poznawczym i praktycznym. Za istotne osiągnięcie należy uznać opracowanie mikrofluidalnej konstrukcji ogniwa w konfiguracji *gapless*.

Rozwiązanie to jest szczególnie interesujące z punktu widzenia inżynierii chemicznej i procesowej, ponieważ ograniczenie przestrzeni pomiędzy elementami ogniwa może wpływać na drogę transportu jonów i reagentów oraz zmieniać opory związane z przepływem elektrolitu, a tym samym determinować wydajność całego układu. Istotną wartość aplikacyjną ma integracja ogniwa z mikroprzepływowym wymiennikiem ciepła. Rozwiązanie to pozwala rozpatrywać układ nie tylko jako urządzenie fotowoltaiczne, lecz jako zintegrowany system konwersji i zagospodarowania energii. Na uwagę zasługuje również uwzględnienie możliwości skalowania opracowanego rozwiązania. Prowadzenie badań z wykorzystaniem układów o większej powierzchni aktywnej pozwala na bardziej miarodajną ocenę ich funkcjonalności oraz potencjału aplikacyjnego, w tym możliwości przeniesienia opracowanych rozwiązań ze skali laboratoryjnej do technologicznej.

Za najważniejsze osiągnięcia Autora rozprawy doktorskiej uważam:

- opracowanie autorskiej konstrukcji mikrofluidalnego ogniwa DSSC;
- zaprojektowanie i przebadanie konfiguracji *gapless*;
- określenie wpływu geometrii układu na opory transportu oraz charakterystyki elektryczne ogniwa;
- określenie wpływu powierzchni oświetlanej na charakterystykę pracy ogniwa;
- analizę wzajemnych zależności pomiędzy transportem masy, ładunku i ciepła;
- opracowanie stanowiska umożliwiającego kontrolę przepływu, temperatury oraz warunków oświetlenia układu;
- integrację ogniwa z mikroprzepływowym wymiennikiem ciepła;
- próbę rozszerzenia klasycznych metod oceny parametrów ogniwa o dodatkowy współczynnik – całkowity współczynnik wypełnienia (IFF);
- wskazanie potencjału opracowanej konstrukcji w kontekście dalszego skalowania mikrofluidalnych układów fotowoltaicznych.

Oceniana rozprawa doktorska stanowi wartościowe i interdyscyplinarne opracowanie dotyczące zjawisk transportu masy, ładunku i ciepła w mikrofluidalnych ogniwach fotoelektrochemicznych. Tematyka pracy jest aktualna, a jej znaczenie wynika zarówno z potrzeby rozwoju efektywnych technologii konwersji energii słonecznej, jak i z możliwości wykorzystania mikrofluidyki do kontrolowania warunków transportu w układach elektrochemicznych. Za najważniejszy walor recenzowanej rozprawy doktorskiej uważam połączenie badań nad konwersją energii z analizą zjawisk transportu masy, ładunku i ciepła. Autor nie ograniczył się do klasycznej charakterystyki parametrów DSSC, lecz podjął próbę określenia wpływu przepływu elektrolitu, geometrii ogniwa oraz warunków cieplnych na jego działanie. Na szczególne uznanie zasługują: autorska konstrukcja mikrofluidalnego ogniwa, konfiguracja *gapless* oraz integracja z mikroprzepływowym wymiennikiem ciepła. Elementy te niewątpliwie świadczą o znaczącej samodzielności badawczej oraz umiejętności przekładania problemów naukowych na rozwiązania o potencjalnym znaczeniu technologicznym. Za mocną stronę pracy należy uznać również szeroki zakres przeprowadzonych badań oraz próbę połączenia oceny parametrów elektrycznych układu z obserwowanymi procesami transportu masy i ciepła.

Jednocześnie, doceniając wartość przedstawionej rozprawy, w tej części opinii chciałabym zwrócić uwagę na pewne kwestie wymagające uzupełnienia, doprecyzowania lub szerszego przedyskutowania. Generalnie dysertacja doktorska została zredagowana poprawnie, choć Autor nie ustrzegł się pewnych błędów i niedociągnięć, których znaczenie w większości przypadków można uznać za drugorzędne. Poniżej pozwalam sobie odnieść się do wybranych z nich, a także sformułować kilka pytań i kwestii dyskusyjnych, które wynikają zarówno z lektury rozprawy, jak i z mojej ciekawości naukowej oraz zainteresowania przedstawioną tematyką.

#### Pytania i kwestie dyskusyjne:

1. W rozprawie stosunkowo często pojawiają się skróty, których znaczenie nie zostało wcześniej wyjaśnione, np. CSP (str. 10), CCGT (str. 13), CHP (str. 14) czy CAPEX (str. 17). Z punktu widzenia przejrzystości pracy zasadnym byłoby wyjaśnienie skrótu przy jego pierwszym użyciu, a kolejno posługiwanie się jego skróconą formą.
2. Większość rysunków zamieszczonych w rozprawie została opisana w języku angielskim (m.in. rys. 4, 5, 8, 11, 12, 14, 16, 20, 21, 24). W kontekście spójności językowej i przejrzystości opracowania dyskusyjna pozostaje zasadność pozostawienia anglojęzycznych opisów w przypadku, gdy rozprawa jest przygotowana w języku polskim. W przyszłości warto rozważyć ujednolicenie języka stosowanego w opisach rysunków.
3. W części eksperymentalnej rozprawy nie wyodrębniono osobnego rozdziału poświęconego charakterystyce wszystkich materiałów/surowców zastosowanych w badaniach. W mojej opinii przedstawienie w jednym miejscu podstawowych informacji dotyczących wykorzystanych materiałów, w tym ich właściwości oraz parametrów istotnych z punktu widzenia prowadzonych badań, zwiększyłoby przejrzystość i ułatwiłoby ocenę przyjętej metodyki badawczej.
4. Str. 3 i 58 – na str. 3 rozprawy podano informację: „Zaprojektowano i wytworzono mikroprzepływowe ogniwo  $\mu$ DSSC w konfiguracji *gapless*, czyli bez przerwy międzyelektrodowej, o powierzchni aktywnej przekraczającej  $7\text{ cm}^2$ ”. Natomiast na str. 58 Autor wskazuje, że „[...] skonstruowano stanowisko badawcze umożliwiające badanie ogniw o dużej powierzchni (przekraczającej  $60\text{ cm}^2$ ) [...]”. Proszę o wyjaśnienie tej rozbieżności. Czy podane wartości odnoszą się do powierzchni aktywnej ogniwa, całkowitej powierzchni urządzenia, czy też powierzchni przeznaczonej do prowadzenia badań? Zasadnym byłoby również doprecyzowanie, czy w ramach rozprawy badano ogniwa o powierzchni aktywnej przekraczającej  $60\text{ cm}^2$ , czy też wartość ta odnosi się do maksymalnego rozmiaru ogniw, jakie możliwe są do testowania na opracowanym stanowisku.
5. Str. 68 – w tekście, w kilku miejscach, podano informację: „Następnie warstwę poddano obróbce termicznej w piecu muflowym w atmosferze otoczenia w temperaturze  $475^\circ\text{C}$  przez 30 minut”. Proszę o wyjaśnienie, czym podyktowany był dobór warunków obróbki termicznej oraz czy zastosowane parametry były optymalne dla przygotowania poszczególnych komponentów fotoanody? Ponadto, istotnym byłoby wskazanie, na jakiej podstawie ustalono temperaturę i czas obróbki poszczególnych warstw?
6. Str. 70 – w tekście podano informację: „Spektroskopia UV-VIS pozwoliła na analizę optyczną sensybilizatora N719 osadzonego na nanostrukturalnych warstwach  $\text{TiO}_2$ .” Czy na podstawie przeprowadzonych pomiarów spektroskopii UV-Vis można stwierdzić, że analiza obejmowała właściwości optyczne sensybilizatora N719? Wydaje się, że uzyskane widma pozwalają przede wszystkim na ocenę właściwości absorpcyjnych badanego układu, w tym zakresu absorpcji oraz położenia maksimów absorpcji. Zasadnym byłoby zatem doprecyzowanie, jakie konkretne parametry optyczne N719 zostały wyznaczone na podstawie przeprowadzonych pomiarów?
7. Str. 72 – w tekście podano informację: „W tym przypadku model 1D2R nie opisuje poprawnie charakterystyki J-V, co zilustrowano na Rysunku 24 (ciemnoczerwona linia przerywana) i co potwierdza wartość współczynnika determinacji (COD)  $R^2=0$  (Tabela 7, krzywa C).” Tymczasem w Tabeli 7, dla krzywej C podano wartość współczynnika determinacji  $R^2=0,9639$ . Wartość ta wskazuje na dobre dopasowanie modelu do danych eksperymentalnych i pozostaje w oczywistej sprzeczności z wartością  $R^2=0$  przytoczoną w tekście. Proszę o wyjaśnienie tej rozbieżności.

8. W badaniach dotyczących ogniw DSSC zastosowano barwnik N719. W rozprawie nie znalazłam jednak szerszego uzasadnienia wyboru właśnie tego barwnika. Proszę o informację, jakie przesłanki zdecydowały o zastosowaniu N719 oraz jakie właściwości tego barwnika były istotne z punktu widzenia prowadzonych badań? Jednocześnie interesujące byłoby wyjaśnienie, dlaczego nie zdecydowano się na zastosowanie innych barwników, np. SL9 lub SL10? Czy rozważano ich wykorzystanie w analizowanych układach?
9. W pracach eksperymentalnych zastosowano maski o zróżnicowanych wymiarach i kształtach, natomiast w części wynikowej w większości przypadków przedstawiono rezultaty uzyskane dla maski prostokątnej. Czym podyktowany był wybór właśnie tej geometrii do prezentacji zasadniczej części wyników? Czy maska prostokątna została uznana za najbardziej reprezentatywną, czy też uzyskane dla niej wyniki charakteryzowały się najlepszą powtarzalnością lub były najbardziej miarodajne z punktu widzenia prowadzonych analiz? Kluczowym byłoby również wskazanie, czy wyniki uzyskane dla pozostałych geometrii masek potwierdzały obserwowane zależności?
10. Odczuwam pewien niedosyt w zakresie porównania uzyskanych wyników z analogicznymi rozwiązaniami przedstawionymi w literaturze światowej. W mojej ocenie rozszerzenie dyskusji o bezpośrednie odniesienie otrzymanych rezultatów do wyników prezentowanych w najnowszych publikacjach pozwoliłoby lepiej ocenić oryginalność zaproponowanego rozwiązania oraz jego wkładu w aktualny stan wiedzy.

Na podkreślenie zasługuje prezentacja wyników przeprowadzonych badań – ich opis należy ocenić wysoko. W tej części pracy Autor przeprowadził kompleksową analizę wpływu warunków pracy i konstrukcji ogniwa na jego parametry elektryczne. Na szczególną uwagę zasługuje analiza charakterystyk prądowo-napięciowych (J-V), współczynnika wypełnienia (FF) oraz sprawności konwersji energii (PCE), które umożliwiają kompleksową ocenę właściwości fotowoltaicznych badanych układów i ich wpływu na efektywność konwersji energii. Interesującym elementem recenzowanej rozprawy jest analiza wpływu powierzchni oświetlanej na parametry ogniwa – pozwala ona wykazać, że zwiększenie skali urządzenia nie musi prowadzić do proporcjonalnego wzrostu uzyskiwanego prądu, a zjawiska transportu masy i ciepła mogą odgrywać coraz większą rolę wraz ze zmianą wymiarów układu. Za wartościowe uważam również wyniki prac eksperymentalnych w zakresie projektowania ogniw DSSC o konfiguracji *gapless* (bez przestrzeni elektrodowej). Wykazanie korzystnego wpływu eliminacji przestrzeni międzyelektrodowej na parametry elektryczne ogniwa stanowi istotne osiągnięcie i dobrze koresponduje z postawioną hipotezą badawczą. Interesująca jest również próba wykorzystania dodatkowego parametru – całkowitego współczynnika wypełnienia (IFF) do opisu charakterystyk prądowo-napięciowych. Wprowadzenie takiego parametru może być wartościowe, szczególnie w przypadku nietypowych przebiegów charakterystyk, jednak jego przydatność wymaga możliwie szerokiego porównania z klasycznymi metodami oceny parametrów ogniw. Co więcej, bardzo wartościowa jest ocena parametrów elektrycznych ogniwa połączona z kontrolą temperatury. Integracja mikropiętywowego wymiennika ciepła z ogniwem pozwala spojrzeć na badany układ z perspektywy całkowitego wykorzystania energii dostarczanej w postaci promieniowania. Wyniki te mają zatem znaczenie wykraczające poza klasyczną analizę parametrów wyłącznie samego ogniwa DSSC.

Pomimo niewątpliwych zalet przedstawionej metodologii badań, pewne elementy mogłyby zostać przedstawione bardziej szczegółowo. Przede wszystkim istotne znaczenie ma sposób oceny powtarzalności wyników. W pracy doktorskiej Autor podał, że „Każdy eksperyment powtórzono co najmniej trzykrotnie.”, ale nie znalazłam udokumentowania tego faktu m.in. w formie „słupków

błędu” na wykresach. Pozwoliłoby to na lepszą ocenę powtarzalności pomiarów oraz wiarygodności prezentowanych wyników. Wątpliwości może również budzić możliwość jednoznacznego przypisania obserwowanych zmian parametrów elektrycznych konkretnym mechanizmom transportu. Charakterystyki prądowo-napięciowe (J-V) dostarczają bardzo wartościowych informacji o funkcjonowaniu ogniwa, jednak nie zawsze pozwalają rozdzielić wpływ zjawiska transportu jonowego, oporów kontaktowych, kinetyki reakcji elektrodowych czy rekombinacji. W mojej ocenie zastosowanie dodatkowych metod elektrochemicznych, w szczególności spektroskopii impedancyjnej (EIS), mogłoby w przyszłości pozwolić na bardziej bezpośrednią identyfikację poszczególnych składowych oporu ogniwa.

Podobnie, cennym uzupełnieniem badań eksperymentalnych mogłoby być zastosowanie modelowania numerycznego przepływu oraz transportu ciepła i masy. Pozwoliłoby to na uzyskanie bardziej szczegółowego obrazu zjawisk zachodzących w badanym układzie, w tym na analizę lokalnych rozkładów prędkości, temperatury i stężenia. Zestawienie wyników modelowania z rezultatami eksperymentalnymi mogłoby ponadto stanowić wartościowe narzędzie do interpretacji obserwowanych zależności oraz weryfikacji przyjętych założeń dotyczących mechanizmu analizowanych procesów.

Inną kwestią, która budzi moje wątpliwości jest skalowanie. Wyniki uzyskane dla dużych powierzchni aktywnych są bardzo interesujące i wskazują na potencjał zaproponowanego rozwiązania. Niemniej jednak określenie rozwiązania jako gotowego do skalowania technologicznego wymagałoby dalszych badań obejmujących większe moduły, stabilność długoterminową, niezawodność przepływu oraz analizę energetyczną całego układu.

Chciałabym jednak zaznaczyć, że moje spostrzeżenia dotyczące braku zastosowania wskazanych metod nie umniejszają wartości przeprowadzonych badań eksperymentalnych – należy je raczej postrzegać jako możliwość dalszego rozwoju i pogłębienia interpretacji przedstawionych badań.

Jednym z elementów publicznej obrony jest dyskusja – w związku z tym mam kilka pytań do Doktoranta:

1. Gdyby Autor miał możliwość ponownego przeprowadzenia badań w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej (mając na uwadze zdobyte doświadczenie i uzyskane wyniki) jakie elementy przyjętej metodyki lub zakresu badań zdecydowałby się Pan zmienić, rozszerzyć lub udoskonalić? Które z przeprowadzonych eksperymentów uznałby Pan obecnie za szczególnie istotne, a które wymagałyby modyfikacji?
2. Jakie są, zdaniem Autora, fizyczne mechanizmy odpowiedzialne za przewagę konfiguracji *gapless* nad konfiguracją z przestrzenią międzyelektrodową? Czy obserwowany efekt można jednoznacznie przypisać ograniczeniu oporów transportu masy, czy też na uzyskiwane parametry wpływ mają również inne czynniki, takie jak transport ładunku, opory elektryczne, geometria układu lub lokalne warunki przepływu?
3. Który element konstrukcji mikrofluidalnego ogniwa Autor uznałby za najbardziej perspektywiczny do dalszej optymalizacji?

Oceniając dorobek Doktoranta przedstawiony w pracy, należy podkreślić Jego znaczną aktywność naukową. Osiągnięcia naukowe Pana mgr. inż. Mikity Davykozy zostały przedstawione w jednej, dwuautorowej publikacji naukowej, opublikowanej w czasopiśmie indeksowanym w bazie *Thomson Reuters Journal Citation Reports*. Ponadto, Doktorant jest współautorem jednego patentu krajowego, a wyniki przeprowadzonych badań zaprezentował podczas dwóch konferencji międzynarodowych. Na szczególne podkreślenie zasługuje również fakt, że mgr inż. Mikita Davykozy pełnił funkcję kierownika i głównego wykonawcy dwóch projektów naukowo-

badawczych finansowanych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki ("Studenckie koła naukowe tworzą innowacje" oraz „Najlepsi z najlepszych! 4.0.”).

Biorąc pod uwagę powyższe, należy podkreślić istotny wkład Pana mgr. inż. Mikity Davykozy w rozwój reprezentowanej dyscypliny naukowej i dziedzin pokrewnych. Sposób zaplanowania eksperymentów, zrealizowane badania, forma przedstawienia oryginalnych wyników, ich wnikliwa analiza oraz dorobek naukowy, świadczą o wysokich kompetencjach naukowo-badawczych Autora rozprawy i są dowodem świadczącym o jego samodzielności badawczej oraz umiejętności łączenia wiedzy z różnych obszarów nauki i techniki.

### Podsumowanie i ocena końcowa

Podsumowując, należy stwierdzić, że przedłożona rozprawa doktorska przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, polegające na określeniu znaczenia zjawisk transportu masy, ładunku i ciepła dla funkcjonowania mikrofluidalnych ogniw fotoelektrochemicznych.

Autor dysertacji wykazał się dobrą znajomością literatury przedmiotu, umiejętnością samodzielnego formułowania i rozwiązywania problemów badawczych, projektowania układów eksperymentalnych oraz analizy uzyskanych wyników. Szczególnie wartościowym osiągnięciem mgr. inż. Mikity Davykozy jest opracowanie autorskiej konstrukcji mikrofluidalnego ogniwa DSSC w konfiguracji *gapless* oraz wykazanie jej potencjalnych korzyści w zakresie ograniczenia oporów transportu masy i poprawy parametrów pracy urządzenia.

Istotnym walorem pracy jest także integracja funkcji fotowoltaicznej i cieplnej poprzez zastosowanie mikroprzepływowego wymiennika ciepła. Zaproponowane rozwiązanie stanowi potencjalny element aplikacyjny, a jednocześnie wyznacza perspektywiczny kierunek dalszych badań nad zintegrowanymi systemami konwersji i wykorzystania energii słonecznej.

W mojej ocenie recenzowana rozprawa doktorska prezentuje dobry poziom naukowy, zawiera oryginalne wyniki badań i stanowi istotny wkład w rozwój reprezentowanej przez Doktoranta dyscypliny naukowej i wiedzy w zakresie mikrofluidalnych układów fotoelektrochemicznych.

Na podstawie przeprowadzonej oceny stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Mikity Davykozy pt. *„Zjawiska transportu masy, ładunku i ciepła w mikrofluidalnych ogniwach fotoelektrochemicznych”* spełnia wszystkie wymogi ustawowe i zwyczajowe stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Chemicznej Politechniki Wrocławskiej o jej przyjęcie oraz dopuszczenie Autora pracy do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.



Signed by / Podpisano przez:

Katarzyna Izabela  
Siwińska-Ciesielczyk  
Politechnika Poznańska

Date / Data: 2026-09-  
08 01:26