

prof. dr hab. inż. Maciej Sibiński.  
Wydział Elektrotechniki Elektroniki Informatyki i Automatyki  
Politechnika Łódzka  
ul Stefanowskiego 18  
90-537 Łódź

Łódź 04.09.2026

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Mikita Davykoza**

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

**Promotor:**

**prof. dr hab. inż. Juliusz Winiarski**

#### **1. Aktualność i oryginalność tematyki oraz teza i cel rozprawy.**

Tematyka pracy obejmuje badania dotyczące poprawy parametrów roboczych ogniw słonecznych uczulanych barwnikiem. Rozwój fotowoltaiki a w szczególności nowe rozwiązania konstrukcyjne ogniw słonecznych i próba zwiększenia ich konkurencyjności rynkowej poprzez obniżenie kosztów wytwarzania energii i zwiększenie zakresu ich aplikacji są niezwykle ważnym zagadnieniem naukowym i technicznym. Na tym tle rozwój cienkowarstwowych struktur fotowoltaicznych, obejmujących badane w pracy ogniwa DSSC jest aktualnym problemem badawczym.

Konstrukcje tego typu są przedmiotem intensywnych prac wielu zespołów badawczych od ponad trzydziestu lat, jednak zaproponowane przez Autora kompleksowe podejście obejmujące optymalizację przepływu ciepła, masy i ładunku w strukturze ogniwa z wykorzystaniem transportu mikrofluidalnego stanowi element oryginalny pracy. Od drugiej dekady XXI w. znane jest pojęcie mikrofluidycznego ogniwa DSSC. Jak dotąd pojawiały się w literaturze doniesienia na temat wykorzystania mikrofluidyki do poprawy sprawności ogniw DSSC na drodze optymalizacji przepływu elektrolitu w ogniwach na bazie nanodrutów ZnO, jak również wykorzystania mikrofluidyki do uczulania  $\text{TiO}_2$  w procesie produkcji oraz koncepcja mikrofluidycznego chłodzenia wodnego ogniwa DSSC. Pomimo to połączenie tych technologii w jednym urządzeniu, uzupełnione o badanie hydrodynamiki elektrolitu oraz jej wpływu na pracę ogniwa jest oryginalnym wkładem Autora.

Cele pracy zostały przedstawione przez Autora w sposób jednoznaczny w rozdziale 5.1. Obejmują one zaplanowanie i przeprowadzenie eksperymentów

technologicznych mających umożliwić zbadanie wpływu określonych zjawisk i parametrów na pracę ogniwa oraz sformułowanie na tej podstawie istotnych wniosków naukowych. Odpowiada im właściwie sformułowana, oraz możliwa do weryfikacji hipoteza badawcza.

## **2. Ocena przyjętego układu oraz poprawności edycyjnej rozprawy doktorskiej.**

Przedstawiona rozprawa składa się z ośmiu rozdziałów numerowanych, obejmujących trzy poświęcone wprowadzeniu do tematyki badawczej, definicję przyjętej koncepcji badawczej, metodykę prac, prezentację wyników oraz ich dyskusję i bibliografię. W ogólności układ pracy odpowiada popularnej strukturze IMRAD i jest zadowalający pod względem formalnym, jednak nie jest zupełnie wolny od usterek.

We wstępie dysertacji poświęcono bardzo dużą uwagę omówieniu popularnych zagadnień związanych ze współczesnymi problemami energetyki takimi jak konsumpcja, generacja, przetwarzanie i magazynowanie energii elektrycznej a nawet energetyka cieplna, sterowanie popytem czy rozwój pojazdów elektrycznych. Opis ten zajmuje jedną czwartą objętości pracy i jest w dużej mierze zbędny, jako nie związany z jej głównym wątkiem badawczym. Jego miejsce można było poświęcić np. na dokładniejsze omówienie wybranych parametrów ogniw słonecznych i ich modeli.

Dodatkowo rozbudowany wstęp teoretyczny nie jest całkowicie spójny, konsekwentny i zawiera powtórzenia. Np. na str. 15 w punkcie poświęconym kogeneracji ponownie umieszczono analizę czynników ekonomicznych i technicznych elektrowni gazowych, pomimo iż ten temat stanowi treść poprzedniego punktu przedstawionego na str. 14.

Od strony edycyjnej praca prezentuje wysoki poziom, jednak i tutaj pojawiają się drobne błędy. Jakość wykorzystywanych obiektów graficznych nie zawsze jest odpowiednia dla publikacji naukowych (np. Wykres 1, Rys.1, Rys 10) . Ponadto w pracy znajdują się drobne błędy edycyjne np.: komentarz na str. 62 w błędnym odwołaniu do Tabeli 6. (*Tabeli Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.*)

W pracy brak jest wyjaśnienia niektórych z wykorzystywanych skrótów (np. opisu współczynnika IFF przed jego wprowadzeniem w tytule rozdziału 6.1.2 i na rys 26). Nie zadbano również o przygotowanie odrębnego wykazu stosowanych skrótów, symboli i oznaczeń.

Pomimo tych zastrzeżeń ogólny układ oraz poprawność edycyjną pracy należy uznać za poprawne.

## **3. Rozwiązanie postawionego zadania – metody badawcze i samodzielność autora.**

W realizacji postawionego celu naukowego Autor wykazał się poprawnym planowaniem, przygotowaniem i przeprowadzeniem eksperymentów badawczych. Zarówno przyjęty zakres, dobór i prowadzenie prac eksperymentalnych, pomiary i analiza wyników jak również modelowanie badanych zjawisk i elementów są

przeprowadzone w sposób zgodny z metodyką naukową. W szczególności osiągnięcia poznawcze uzyskane w toku eksperymentów podkreślają wagę przeprowadzonych badań oraz samodzielność analizy wyników. Za niezwykle ważne uważam potwierdzenie wysokiej sprawności wymiany ciepła w opracowanym mikoprzepływowym wymienniku, która zapewnia jego skuteczną pracę w strukturach DSSC w każdych warunkach oświetleniowych występujących na powierzchni Ziemi.

Kolejnym istotnym osiągnięciem jest praktyczne przebadanie wpływu transportu masy wewnątrz elektrolitu na parametry robocze ogniw słonecznych DSSC oraz wykazanie możliwości znacznego podwyższenia sprawności konwersji energii PCE mikroukładów  $\mu$ DSSC na drodze skutecznej redukcji oporu szeregowego tej struktury.

Wysoką jakość powyższych prac badawczych i przeprowadzonych procesów technologicznych potwierdza uzyskanie rekordowych sprawności fotokonwersji dla konstrukcji typu gapless przy ograniczonej aperturze oświetleniowej.

Jednocześnie znaczącym osiągnięciem Doktoranta poza opracowaniem i przebadaniem nowej konstrukcji ogniw słonecznych DSSC jest także wzbogacenie metod charakteryzacji tych ogniw poprzez poszerzenie analizy ich parametrów z wykorzystaniem nowych współczynników jak Integral Fill Factor IFF czy maksymalnej sprawności układu (MCE).

#### **4. Wiedza autora z zakresu dyscypliny naukowej oraz umiejętność prezentacji wyników.**

W toku pracy Autor wykazał się szeroką wiedzą z zakresu problematyki odnawialnych źródeł energii jak również przetwarzania i magazynowania energii elektrycznej. Jednocześnie zaprezentował wysoki poziom znajomości parametrów i modeli oraz zjawisk fizycznych zachodzących w strukturze ogniw słonecznych. Ponadto udowodnił znajomość technik charakteryzacji optycznej, elektrycznej i materiałowej warstw i elementów fotowoltaicznych. Potwierdził też umiejętność analizy zjawisk fizycznych i chemicznych w elementach półprzewodnikowych na podstawie uzyskanych parametrów pomiarów.

Ponadto Autor wykazał umiejętność przygotowania publikacji naukowych w stopniu zadowalającym. Doktorant prezentuje znaczące osiągnięcia technologiczne, potwierdzone uzyskanym patentem oraz zaangażowanie w projektach naukowych, jednak jego aktywność publikacyjna jest znacząco mniejsza. Nie obejmuje ona również żadnej publikacji przygotowanej z udziałem promotora.

#### **5. Uwagi krytyczne i zastrzeżenia do treści rozprawy doktorskiej**

Pomimo wysokiego poziomu przedstawionej dysertacji po szczególnej analizie jej treści można sformułować szereg wątpliwości i uwag krytycznych. Do najważniejszych z nich należą następujące uwagi formalne:

- a. W szczegółowym podziale współczesnych konstrukcji fotowoltaicznych, przedstawionym w Rozdziale 2.1 pracy pominięto całkowicie ogniwa cienkowarstwowe CZTSSe oraz  $\text{Sn}_2\text{Se}_3$  i  $\text{Sn}_2\text{S}_3$  co jest nieuzasadnione w punktu widzenia prezentowanej systematyki.
- b. Stwierdzenie, przedstawione na stronie 30 jakoby „żywność” (okres eksploatacji) ogniw słonecznych pierwszej generacji stanowi 10-15 lat nie jest zgodne z prawdą. Obecnie nawet standardowe warunki gwarancji dotyczące utrzymania sprawności komercyjnie wytwarzanych krystalicznych ogniw krzemowych obejmują okres do 25 lat, co Autor sam zauważa wcześniej na stronie 24. Ponadto o wysokim koszcie tej technologii stanowią nie tylko jej wymagania odnośnie czystości procesu, ale również wysoka energochłonność związana z wysoką temperaturą obróbki krzemu.
- c. W opisie modelu dwudiodowego brak jest wzmianki o różnych wartościach współczynnika doskonałości n obu zastosowanych diod idealnych. Podobnie w symulacjach nie zróżnicowano tych wartości co zgodnie ze stwierdzeniem Autora sprowadza ten model funkcjonalnie do poziomu modelu jednodiodowego. Pomimo wskazywanych potencjalnych błędów konwergencji modelu jest to zbyt daleko idące uproszczenie.
- d. Nie do końca poprawna jest definicja sprawności podana na stronie 40. Moc ogniwa słonecznego to iloczyn wartości natężenia prądu i napięcia w wybranym punkcie pracy. Choć wartość gęstości prądu (w tym gęstości prądu zwarcia) jest często wykorzystywana dla celów porównawczych to jednak posiada inną jednostkę i nie powinno się jej swobodnie zamieniać.
- e. Przytoczona literatura dotycząca modelowania i zastosowań systemów mikroprzepływowych (w tym zwłaszcza w do chłodzenia w elektronice i fotowoltaice) jest dosyć uboga. Zarówno w Polsce jak i za granicą prowadzone są szeroko zakrojone prace badawcze i wdrożeniowe z tego zakresu, których wyniki są na bieżąco publikowane.

Ze względu na jakość i wagę prezentowanych wyników należy również wyjaśnić następujące kwestie merytoryczne:

- f. Czy energia napędzająca pompę perystaltyczną elektrolitu została uwzględniona w bilansie energetycznym wykonanego ogniwa DSSC? W jakim stopniu konieczność zasilania układu obniża zyski z podwyższenia sprawności ogniwa DSSC?
- g. Jaka jest rzeczywista struktura mikrokanalów wykonanych w kolektorze prądowym ogniwa? Czy możliwa jest prezentacja tej struktury w skali 3D?
- h. Ile pomiarów charakterystyk wykonanych ogniw składa się na przedstawione w rozdziale 6.1 wyniki? Czy powtarzano pomiary parametrów w poszczególnych punktach? Jak uśredniono uzyskane wyniki? Czy zbadano zjawisko histerezy w pomiarach prądowych?
- i. Czy tak znaczące zwiększenie rezystancji szeregowej oraz zmniejszenie współczynnika wypełnienia ogniwa DSSC przedstawionego na charakterystyce 23 względem rys 22 można wytłumaczyć jedynie poprzez zwiększenie apertury w procesie oświetlania? Jak ma się to zjawisko do postulowanej w pracy

skalowalności zaproponowanej technologii? Brak głębszej analizy tego problemu podważa twierdzenie Autora.

- j. W tekście pracy na str. 72 błędnie podano, że w przypadku dopasowania modelu jednodiodowego do charakterystyki przedstawionej na rys 23 współczynnik  $R^2$  wynosił 0 (jest to wielkość praktycznie nieosiągalna w rzeczywistości). Wartość prawdopodobną podano w Tabeli 7.
- k. Dlaczego jako ogniwo referencyjne wykorzystano polikrystaliczną konstrukcję krzemową? Ogniwa monokrystaliczne, stanowiące obecnie znacznie większą część produkcji komercyjnej zapewniają większą jednorodność i niezależność wyników przy nietypowych kształtach i małych wymiarach apertury oświetleniowej.

## 6. Ocena końcowa

Pomimo przedstawionych pytań i uwag krytycznych należy podkreślić, że postawione przez Autora dysertacji cele badawcze zostały zrealizowany a przedstawiona hipoteza badawcza w pełni potwierdzona. Doniosłość uzyskanych wyników potwierdza duża potencjalna skala aplikacyjna oraz szerokie możliwości dalszego rozwoju podjętych prac badawczych i wdrożeniowych.

Na tej podstawie stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymogi stawiane w art. 186 oraz 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do obrony.



PODPIS ZAUFANY

MACIEJ  
SIBIŃSKI

04.09.2026 11:19:43 GMT+0200

Dokument podpisany elektronicznie  
podpisem zaufanym