

Wydział Elektroniki i Informatyki
Politechnika Koszalińska
ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin
patryn@weji.tu.koszalin.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. **Fabiana SCHODENA** pt.

„**Investigation of non-toxic dye-sensitized solar cell materials for circular design approaches**”

1. Podstawa formalna recenzji.

Podstawą wykonania recenzji stanowi uchwała nr 150/223 Rady Dyscypliny Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej z dnia 24 października 2023 oraz pismo Przewodniczącego ww. Rady Dyscypliny z dnia 31.10.2023 .

2. Struktura pracy i jej ogólna formalna charakterystyka

Recenzowana rozprawa pt. „**Investigation of non-toxic dye-sensitized solar cell materials for circular design approaches**” zawiera 182 stron, jej struktura obejmuje wstęp, cztery rozdziały merytoryczne, podsumowanie i wnioski ogólne, spis wykorzystanej literatury, wykaz rysunków (w sumie 74), wykaz tabeli (w sumie 11), listę zastosowanych skrótów oraz Appendix, zawierający informację dot. wykorzystanej aparatury. Ww. rozdziały merytoryczne to są: **2.Podstawy teoretyczne** (*Theoretical foundations*), **3.Metodologia**, **4.Wyniki eksperymentalne** oraz **5.Diskusja**. Praca napisana po angielsku, jednak jej streszczenie na stronach 9-34 jest *de facto* skróconą polską wersją całej rozprawy, mającej nawet swój, odrębny od głównego, spis literatury. Cytowana w głównej, angielskojęzycznej części literatura obejmuje 171 pozycję, z czego 8 to publikacje ze współautorstwem Doktoranta.

Rozprawę do recenzji przedstawiono tak w wersji wydrukowanej jak i w wersji elektronicznej.

Autor sformułował główny tej pracy jako zbadanie przydatności technologii DSSC i zastosowanych materiałów w ramach gospodarki o obiegu zamkniętym.

Wielowątkowy charakter badań spowodował konieczność wprowadzenia do tekstu analizy literaturowej materiału z wielu dziedzin naukowych oraz obszerne uzasadnienie celów badawczych pracy.

Głównym „słowem kluczowym” w odniesieniu do rozprawy można określić skrót **DSSC (dye-sensitized solar cell)**, czyli ogniwa słoneczne fotoelektrochemiczne, pozbawione tradycyjnego złącza P-N, w których warstwa fotoczuła jest barwnikiem lub uczulona przez taki materiał barwnikowy. W odniesieniu do takich struktur Doktorant przeprowadził szereg badań, bazowanych tak na analityce literaturowej, jak i na bazie własnych eksperymentów.

Zasadnicze elementy rozprawy to:

- prezentacja stanu wiedzy z zakresu historii DSSCs, właściwości materiałów i zasad funkcjonowania DSSC; stabilności materiałów DSSC i koncepcji wykorzystania recyklingu do DSSC, włącznie ze szczegółami regeneracji DSSC w zamkniętym cyklu ich istnienia, zaproponowaniem biznes-modelu cyklu regeneracji i jego implementacji;
- szczegółowy opis poszczególnych elementów technologicznych do weryfikacji procesu recyklingu i regeneracji struktur DSSC, w tym procesów topienia, przygotowania i analizy podłoża szklanego z wyznaczeniem pozostałości śladowych;
- omówienie metodyki badania struktur DSSC na wszystkich etapach pełnego cyklu produkcji, testowania i recyklingu, włącznie z badaniami DSSC i poszczególnych warstw za pomocą mikroskopu sil atomowych, badań spektroskopowych absorbancji poszczególnych warstw, analizy pierwiastkowej podłoża metodą SEM-EDX, wykonania badań składu pierwiastkowego również z wykorzystaniem spektrometrii emisyjnej z plazmą sprężoną indukcyjnie (ISP-OES); wydajności fotokonwersji struktur DSSC jako ogniw słonecznych pod światłem kalibrowanego symulatora słonecznego;
- opracowanie prototypu modelu implementacji zamkniętego obiegu wykorzystania ogniw DSSC w praktyce, zdefiniowanego w pracy jako *business model*.

Rozprawę zamyka rozdział *Summary and Discussion*, w którym doktorant streszcza wszystkie otrzymane w pracy wyniki, powstałe tak w trakcie pracy z literaturą, jak i w trakcie pracy laboratoryjnej. W tej części posumowano też oszacowania dotyczące potencjalnych zysków w ewentualnym procesie technologicznym oraz sformułowano pewne praktyczne rekomendacje do kolejnych badań w kierunku rozwoju tematyki rozprawy.

Reasumując, stwierdzam, tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy zagadnień aktualnych i istotnych tak dla inżynierii materiałowej jak i dyscyplin pokrewnych.

3. Ocena merytoryczna rozprawy.

Rozprawa mgr inż. Fabiana Schodena została wykonana, moim zdaniem, na styku obszarów kilku dyscyplin badawczych. Pewne aspekty pracy leżą w obszarze materiałoznawstwa, technologii chemicznej, fizyki półprzewodników, optoelektroniki oraz ekologii i ochrony środowiska. Autor sformułował następującą hipotezę badawczą: *materiały potrzebne do produkcji DSSC można poddawać cyklicznym procesom technologicznym, tak aby uzyskana stabilność parametrów strukturalnych, optycznych i elektrycznych pozwalała na ich ponowne wykorzystanie w urządzeniach fotowoltaicznych*. I po analizie treści przedstawionych w rozprawie, ja mam podstawy do stwierdzenia, że wyniki pracy Doktoranta to potwierdzają.

Jako bardzo pozytywny składową pracy zwrócę uwagę na oryginalną analizę danych pochodzących z Web of Science, przedstawioną na str. 81-84 i wykonaną na bardzo dużej ilości danych bibliograficznych, i która uzasadnia aktualność i ważność wykonanych w przedstawionej do recenzji pracy badań.

Chciałby podkreślić że wyniki badań eksperymentalnych, zaprezentowanych w pracy, przedstawiono i opisano z wyjątkową precyzyjnością i skrupulatnością. Wszystkie badania wykonano za pomocą urządzeń wysokiej klasy, co daje podstawy traktować wyniki jako bardzo wiarygodne i jednoznaczne. Jako przykład, tu w recenzji podam wyniki ISP-OES (np. Tabl.3) składników niekontrolowanych zanieczyszczeń i porównanie z danymi z literatury. W tym kontekście jeszcze raz chciałbym podkreślić, że Autor rozprawy nie tylko dokładnie opisał metodykę prowadzonych badań, a też przedstawił w Załączniku szczegółowy opis (chyba) wszystkich wykorzystanych w pracy urządzeń diagnostycznych i technologicznych.

Jako bardzo udane rozwiązanie, scalające poszczególne fragmenty całej pracy, należy potraktować Rys. 3.1, który pozwala związać ze sobą umieszczone w rozdziałach 3, 4 oraz 5 istotne części pracy w kontekście *recyklingu* struktur i materiałów DSSC.

Cała analiza problemu powstała logicznie z wybranego tematu i celów pracy. Sposób w który analiza została przeprowadzona świadczy, że Autor rozprawy ma bardzo dobre ogólne przygotowanie naukowe i wiedzę w zakresie tak ściśle dotyczącym tematyki badań jak i sprawach pokrewnych. Do tych pokrewnych można odnieść nie tylko aspekty fizyczne i chemiczne (działanie ogniw DSSC, składniki warstwowe, stabilność struktur, metody utylizacji i recyklingu, parametry kontrolowane w recyklingu), a również aspekty ekonomicznie-społeczne, jak np. inwestycji w systemy elektrotechniczne opierające się o ekologicznie czyste sposoby wytwarzania energii i wykorzystanie ponowne materiałów z DSSC.

Jako jednym z interesujących wyników pracy może być stwierdzenie Doktoranta, że „Wykazano, że dzięki kluczowym procesom cyrkularnego modelu biznesowego, czyli regeneracji i recyklingowi, można uzyskać tzw. zamknięte pętle materiałowe, a nietoksyczne ogniwa barwnikowe DSSC są obiecującą technologią wytwarzania zielonej energii, która potencjalnie może być zintegrowana z cyklami materiałowymi gospodarki cyrkularnej”.

Wyniki badań zostały zaprezentowane w cyklu z siedmiu (7) artykułów opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych, w tym 7 artykułów z listy A MNiSW.

Całość recenzowanej rozprawy jednoznacznie świadczy o tym, że rozprawa jest kompleksowym produktem naukowym, w którym zawarte są takie niezbędne składniki jak aktualność przedmiotu badań, głęboka analiza literaturowa, oryginalne badania eksperymentalne i wystarczająca analiza naukowa rezultatów tych eksperymentów.

Ogólnie układ rozprawy, przedstawienie materiału w rozdziałach, ich struktura, sposób prezentacji materiałów ilustracyjnych, cytowanie literatury należy uznać jako prawidłowe. Tekst napisano w sposób czytelny i łatwo zrozumiały, przy tym że ta łatwość nie upraszcza za mocno stronę naukową.

Warto podkreślić jeszcze raz, że opis większości urządzeń badawczych, procedur technologicznych i pomiarowych podano bardzo szczegółowo, można powiedzieć

precyzyjnie, co świadczy o wysokim poziomie wiedzy Autora i poziomie opanowania przez niego pracą w zakresie prowadzenia eksperymentów badawczych.

Wyniki pomiarów Autor analizuje w miarę logiczne i obiektywnie, wnioski wynikające z analizy nie budzą kontrowersji.

W końcowej części pracy Doktorant na bazie wykonanych badań i przemyślenia wyników tych badań, proponuje potencjalny model procesu produkcji, zgodny z zasadami obiegu zamkniętego. Podejście to stanowi nowy przykład przekształcenia klasycznego liniowego procesu produkcyjnego w proces obiegu zamkniętego, w połączeniu z odpowiednim modelem biznesowym.

Wyniki badań zostały zaprezentowane w cyklu z siedmiu (7) artykułów opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych z listy A MNiSW, co z nadmiarem spełnia ogólnie przyjęte wymagania do rozpraw doktorskich jak i ujętych w Uchwale nr 43/2023 Senaty Politechniki Śląskiej z dnia 25.09.2023.

Reasumując ocenianie merytoryczne rozprawy stwierdzam, że jej struktura, tematyka, poziom przedstawionych badań oryginalnych jak i prezentacja wiedzy Autora w zakresie badań odpowiadają ogólnie przyjętym wymogom stawianych do prac kwalifikacyjnych którymi są prace doktorskie w dziedzinie nauk technicznych, a tematyka odpowiada dyscyplinie naukowej inżynieria materiałowa.

4. Uwagi dotyczące pracy:

- Doktorant wprowadza, a następnie kilka razy korzysta z pojęcia „*Circo metod*”. Po sześciokrotnym jego używaniu na stronach od 6 do 55, dopiero na str. 76 robi próbę wytłumaczenia jego istoty. I to tłumaczenie chyba też nie jest do końca klarowne. Z mojego punktu, to jest istotny błąd, tym bardziej w stosunku do pracy z dziedziny Inżynierii materiałowej, a nie z ekonomii lub innej gałęzi biznesu.
- Na rys.25-27 Doktorant przedstawia wyniki analizy statystycznej opublikowanych danych z bazy Web of Sci. w postaci kolorowej „mapy” z kolorami powiązanymi z poszczególnymi składnikami funkcjonalnymi DSSCs. Moim zdaniem, opis tych „map” jest nie wystarczająco klarowny. Brakuje wyjaśnienia tego jak był wygenerowany ogólny obrys „mapy” i jak grupy punktów w poszczególnych kolorach były usytuowane w tym lub innym miejscu „mapy”. Uwagę powoduje również i sam fakt tego, że rozdział 4.1 pt. „State-of-the-art recycling methods in the context of DSSCs - bibliographic analysis” jest zlokalizowany w rozdziale 4. “Experimental results”

- W spisie literatury zauważyłem identyczne pozycje nr16 i nr 18. Czy to zrobiono celowo, czy to jest błąd techniczny?

5. Ocena ogólna i wniosek końcowy.

Recenzowaną pracę doktorską pani mgr inż. Fabiana SCHODENA oceniam w pełni pozytywnie. Ona w pełni odpowiada wymaganiom zawartym w sformułowaniu z Ustawy, mianowicie że „Rozprawa doktorska, przygotowywana pod opieką promotora, powinna stanowić „oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, ... oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej”.

Na tą ocenę składa się przede wszystkim:

- Oryginalna, aktualna tematyka z ważnymi zagadnieniami w zakresie dyscypliny Naukowej **Inżynieria Materiałowa**, ukierunkowanymi na pogłębienie wiedzy w zakresie wytwarzania, właściwości oraz zastosowania ogniw słonecznych III generacji (ogniw typu DSSG);
- Zastosowanie przez Doktoranta wydajnych, nowoczesnych metodyk badawczych i aparatury;
- Metodologicznie poprawny i spójny sposób realizacji badań;
- Umiejętność przeprowadzenia analizy eksperymentalnych danych i wyciągnięcia odpowiednich wniosków;
- Dobrze opracowanie analizy dotyczącej stanu badań w zakresie tematyki pracy na bazie danych z literatury;
- Pozyskanie i przedstawienie nowych, oryginalnych wyników naukowych, aprobatą których znalazła swoje miejsce w siedmiu publikacjach w czasopismach naukowych z „*impact factor*”;
- Dobrze wykonana strona graficzna pracy.

Przedstawione wyżej w recenzji uwagi krytyczne i pytania dyskusyjne nie pomniejszają ogólnej wartości naukowej ocenianej rozprawy i przedstawienia tej pracy jako pracy kwalifikacyjnej.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Fabiana SCHODENA pt. „Investigation of non-toxic dye-sensitized solar cell materials for circular design approaches” spełnia wszystkie wymagania ustawy o stopniach i tytule

naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dn. 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2016 r. poz. 882, 1311, z 2017 r. poz. 859, 1530, z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Prof. dr hab. Aleksy Patryn

ORCID: [0000-0002-5507-6833](https://orcid.org/0000-0002-5507-6833)

aleksy.patryn@tu.koszalin.pl

<https://tu.koszalin.pl/weii/art/4110/aleksy-patryn>

Politechnika Koszalińska,

Koszalin, POLAND