

Gliwice, 14.05.2022

dr hab. inż. Anna Skorek-Osikowska, prof. PŚ  
Politechnika Śląska  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych  
ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice  
e-mail: [anna.skorek@polsl.pl](mailto:anna.skorek@polsl.pl)

## RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Konrada Motylińskiego pt.

*Modelowanie dynamiki pracy modułów do produkcji wodoru lub energii elektrycznej i ciepła, opartych na stałotlenkowych ogniwach elektrochemicznych*

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie zlecenia prof. dra hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego, Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Politechnice Warszawskiej. Promotorem pracy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Jarosław Milewski, promotorem pomocniczym dr hab. inż. Jakub Kupecki, prof. IEn.

### 1. UZASADNIENIE TEMATYKI ROZPRAWY

W ostatnich latach w energetyce obserwuje się dynamiczny wzrost zainteresowania i rozwój systemów magazynowania energii, które mają być odpowiedzią na rosnące zapotrzebowanie na rozwiązania pozwalające na bilansowanie mocy w systemach energetycznych, dostarczanej w coraz większej ilości z trudnoprognozowalnych i niestabilnych źródeł wytwarzania, w tym źródeł solarnych i turbin wiatrowych. Szczęólnego znaczenia nabral w tym kontekście wodór i związana z nim gospodarka wodorowa. Głównymi czynnikami napędzającymi gospodarkę wodorową są wzrost udziału źródeł odnawialnych w systemach wytwarzania energii (wynikający z globalnej polityki klimatyczno-energetycznej ukierunkowanej na przeciwdziałanie zmianom klimatu) oraz konieczność dekarbonizacji różnych sektorów gospodarki i transportu (dla osiągnięcia do 2050 r. neutralności klimatycznej). W procesie dekarbonizacji wodór może pełnić wiele ról, z których najważniejsze to wzrost rozpowszechnienia źródeł odnawialnych i ich optymalna integracja w procesach wytwarzania paliw i energii, stabilizacja systemu energetycznego, magazynowanie energii, dekarbonizacja transportu, zmniejszenie emisyjności sektora komunalnego, czy też zapewnienie czystego surowca dla wielu gałęzi przemysłu.

W tym kontekście stałotlenkowe ogniwa elektrochemiczne (SOC) zaliczają się do rozwiązań o dużym potencjale rozwojowym, głównie z uwagi na możliwość uzyskiwania wysokich sprawności, możliwość pracy w trybie odwracalnym (rSOC), tj. zarówno w trybie elektrolizera (produkcja wodoru) oraz ogniwa paliwowego (produkcja energii), a także możliwość zasilania różnymi paliwami, w tym nieobciążonymi śladem węglowym. Moduły

z ogniwami pracującymi w trybie odwracalnym pozwalają, w zależności od potrzeb, na sprawne przełączanie się między wytwarzaniem wodoru, a produkcją energii, co pozwala na elastyczną pracę instalacji w bardzo szerokim zakresie. Układy takie mogą zatem pełnić jednocześnie funkcję magazynu energii, stabilizatora sieci elektroenergetycznej, a także ekologicznego źródła wytwarzania. Ze względu na dynamikę pracy, zagadnienia związane z modelowaniem odwracalnych ogniw są trudne, ale i niezwykle aktualne i zasadne.

Tematyka doktoratu wpisuje się w aktualny i istotny obszar badań nad technologią wysokotemperaturowych ogniw elektrochemicznych, rozwijaną obecnie w wielu wiodących jednostkach naukowych, w tym również w ramach Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej oraz Instytutu Energetyki.

Biorąc pod uwagę złożoność badawczą podjętego przez Doktoranta problemu oraz jej potencjalnie wysoką wartość użyteczną wybór tematyki rozprawy należy uznać za w pełni uzasadniony.

## 2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Rozprawa składa się z 8 rozdziałów oraz jednego załącznika, zawierającego kod opracowanego przez Doktoranta algorytmu sterowania. Praca zawiera również, zamieszczone przed zasadniczą częścią rozprawy, streszczenie (w języku polskim i angielskim), wykaz oznaczeń, spis rysunków oraz tabel. Na końcu umieszczono bibliografię zawierającą 163 cytowane w pracy pozycje, w tym 9 pozycji, których Doktorant jest współautorem.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do pracy. Doktorant przybliżył tu najważniejsze problemy współczesnych systemów energetycznych, w tym konieczność rozwijania systemów magazynowania oraz wytwarzania energii i paliw z odnawialnych źródeł energii. Rozdział ten przedstawia również motywację podjęcia działań badawczych w obszarze stałotlenkowych ogniw elektrochemicznych (SOC), będących rozwiązaniem pozwalającym na ekologiczne i efektywne wytwarzanie energii jak i jej magazynowanie w postaci wodoru.

W rozdziale tym Autor wskazuje układy magazynowania jako istotne elementy systemów energetycznych, w których coraz większa jest dominacja odnawialnych źródeł energii. Jako najpowszechniej stosowaną formę magazynowania wskazuje baterie litowo-jonowe, które jednak w energetyce mają przecież marginalne znaczenie. Właściwsze byłoby krótkie scharakteryzowanie systemów magazynowania właściwych dla sektora elektroenergetycznego (np. obecnie najpowszechniej wykorzystywane elektrownie szczytowo-pompowe, czy też perspektywiczne rozwiązania, takie jak technologie Power to X, czy też magazyny wykorzystujące sprężone gazy).

W rozdziale 2 Autor omówił aktualny stan wiedzy w zakresie ogniw SOC. W logicznym układzie przedstawił kolejno zagadnienia związane ze stałotlenkowymi ogniwami paliwowymi i elektrolizerami, stosami ogniw SOC, na końcu opisując układy energetyczne wykorzystujące SOC. Zawarto tu krótki rys historyczny, opisano konstrukcję i sposób działania ogniw z uwzględnieniem poszczególnych elementów, kładąc duży nacisk na zalety i wady poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych. Najważniejsze parametry ogniw zebrano w formie czytelnego zestawienia w tabeli 1. W dalszej części rozdziału przedstawiono koncepcję łączenia ogniw w stosy, właściwie przedstawiając najważniejsze wyzwania towarzyszące takim działaniom. Co cenne, Autor w opisach posługuje się zdjęciami i

schematami ogniw wytworzonych i wykorzystywanych w macierzystej Jednostce (Instytucie Energetyki). Szkoda natomiast, że nie przedstawił charakterystycznych cech i parametrów tychże rozwiązań (takich jak temperatura pracy, moc, sprawność, itp.). W ostatniej części rozdziału Doktorant przedstawił dostępne na rynku rozwiązania komercyjne związane z technologią SOC. Zaprezentował również wybrane projekty badawcze związane z rozwojem tej technologii, w tym projekt BALANCE, w którym był wykonawcą. Nie pojawiły się tu natomiast projekty realizowane przez polskie zespoły, w tym na przykład przez Instytut Energetyki, co byłoby interesującą informacją.

Rozdział ten, choć właściwy z punktu widzenia poruszanych zagadnień, jest napisany w sposób nieco chaotyczny. Dla większej czytelności lepiej byłoby zacząć od opisu schematu działania ogniw SOC (jak w podrozdziale 2.1.1), a następnie opisać cechy wspólne i charakterystyczne ogniw SOE oraz SOFC, na przykład w dedykowanych podrozdziałach. W rozdziale 2.3 sporo uwagi zostało poświęcone układom zasilanym metanem, dobrze byłoby zatem wyjaśnić istotę działania, bądź też różnice w stosunku do ogniw zasilanych wodorem. Podobnie, Autor przytacza rozwiązania układów, w których ogniwa SOC są sprzężone z turbinami gazowymi i parowymi, nie wyjaśniając istoty takich połączeń. Dla większej czytelności wskazane byłoby umieszczenie podsumowania. Autor wprowadza też pojęcie pierwszej generacji ogniw, ale nie pojawiają się definicje kolejnych generacji. W rozdziale 2.1.1 brakuje wyjaśnienia od czego zależą opisywane parametry ogniw – np. stan termoneutralny. Z opisu można mylnie wywnioskować, że stan ten zawsze odpowiada temperaturze 700°C, niezależnie od konstrukcji i rodzaju ogniwa.

Rozdział trzeci poświęcony jest tematyce modelowania i symulacji pracy stałotlenkowych ogniw elektrochemicznych, zarówno w stanach ustalonych jak i nieustalonych. Zawarto tu obszerny (40 stron) przegląd literatury, bardzo istotny z punktu widzenia tematyki pracy. Rozdział został podzielony na dwa podrozdziały. W pierwszym zawarto charakterystykę modeli ogniw SOC, drugi w całości został poświęcony tematyce modelowania ogniw odwracalnych, szczegółowo przedstawiając najważniejsze prace w tej tematyce. W ramach prac we właściwy sposób przedstawiono zalety i wady poszczególnych rodzajów modeli, od 0D do 3D. Podkreślono istotę walidacji modeli numerycznych w oparciu o rzetelne dane w celu zagwarantowania wysokiej zbieżności wyników symulacji z rzeczywistymi danymi eksperymentalnymi. Autor w sposób bardzo szczegółowy (w opinii Recenzentki może nawet zbyt szczegółowy, gdyż nie jest jasne czy i jak te modele zostały wykorzystane przez Doktoranta i jakie wnioski wyciągnięto z tych prac) przedstawił wybrane modele literaturowe, w szczególności odwracalnych ogniw rSOC.

Pomimo rzetelności i dokładności opisów, i w ten rozdział wkradło się nieco chaosu. Przykładowo, opis narzędzi wykorzystywanych do modelowania znajduje się w kilku miejscach pracy, co nieco utrudnia jej lekturę. Ponadto w opisach wielu modeli nie jest podane, jakie narzędzia były użyte, co byłoby zasadne z punktu widzenia tytułu rozdziału. Bardziej celowe byłoby opisanie narzędzi w jednym miejscu. W trakcie czytania rozdziału pojawia się też wiele drobnych niejasności wynikających z braku nakreślenia szerszego kontekstu lub niejednoznacznych odniesień, a także stosowanych uogólnień. Przykładowo, wskazany byłby nieco szerszy opis słowny przedstawionych schematów (rys 3.1.3, 3.1.4), zawierający charakterystykę przyjętych modeli gazów, czy też zastosowanych modeli poszczególnych komponentów.

Recenzentce brakuje nieco podsumowania, wniosków i dyskusji z przedstawianych prac. Z uwagi na tematykę rozprawy wskazane byłoby podkreślenie możliwości wykorzystania poszczególnych z przedstawianych modeli, ale przede wszystkim ich ograniczeń, które dla Doktoranta wydawały się najistotniejsze, stanowiąc motywację podjętych działań.

Rozdział czwarty stanowi krótkie przedstawienie celu pracy. Wbrew tytułowi (Cel i teza pracy) brakuje jednak sformułowania jasnej tezy badawczej, która została zweryfikowana w ramach prowadzonych badań. W kontekście tytułu rozprawy, celem samym w sobie było chyba również opracowanie i zwalidowanie narzędzia numerycznego do modelowania stanów przejściowych, co nie zostało wskazane. Autor stwierdza, że temat odwracalnych stałotlenkowych ogniw elektrochemicznych nie został jeszcze wyczerpany, co prosi się o wskazanie głównych wyzwań dla dalszych prac, w tym wskazanie, w jaki sposób niniejsza praca odpowiada tej luce.

W rozdziale 5 przedstawiono założenia do budowy modelu oraz zbudowane narzędzie numeryczne do modelowania ogniw SOE. Szczegółowo opisano metodologię, przedstawiając zagadnienia elektrochemiczne i cieplne, a także zagadnienia związane ze sterowaniem. Dokonano walidacji modelu w oparciu o dane pochodzące z eksperymentów wykonanych w Instytucie Energetyki. Narzędzie zostało następnie wykorzystane do przeprowadzenia symulacji, których celem było zbadanie wpływu zmiany poszczególnych parametrów operacyjnych na osiągi i zachowanie stosów ogniw rSOC. Przedstawiony model do symulacji stanów nieustalonych bazuje na wcześniejszych pracach prowadzonych przez Promotora niniejszej rozprawy. Szkoda, że Doktorant w jasny sposób nie określił jaki był jego udział w budowie modelu, które elementy stanowią jego nowatorskie podejście, czy też jakie modyfikacje względem oryginalnego modelu zostały opracowane. Niemniej jednak na podkreślenie zasługuje fakt opracowania przez Doktoranta algorytmu sterowanie stosem rSOC, który został zaimplantowany do modelu.

Doktorant wskazuje pewne ograniczenia wielkości fizycznych (np. współczynnik wykorzystania paliwa w zakresie 80-85%). Nie przedstawia jednak jasnego uzasadnienia dla przyjmowania takich wartości. Autor zaimplementował opracowany model matematyczny do środowiska Aspen HYSYS, będącego stosunkowo powszechnie wykorzystywanym symulatorem procesów fizycznych i chemicznych, służącym do rozwiązywania zagadnień cieplno-przepływowych. Wybór zarówno narzędzia jak i równania stanu jest uzasadniony, choć pewien niedosyt pozostawia opis sposobu implementacji własnych modeli do narzędzia Aspen.

Istotną część rozdziału stanowi opis walidacji modelu. Autor przedstawia opis stanowiska, na którym prowadzone były prace eksperymentalne. Opis stanowiska jest dość pobieżny i wskazane byłoby nieco szersze jego przedstawienie (np. pod kątem możliwości pomiarowych, w tym zakresów pomiarowych badanych wielkości, itp.). Do walidacji modelu Autor wykorzystał krzywe prądowo-napięciowe, zarówno dla trybów pracy SOE i SOFC, jak i dla działania modułu rSOC w stanach nieustalonych. Na kolejnych rysunkach przedstawia charakterystyki dla różnych uzmiennianych wielkości – przepływu wodoru oraz stężenia molowego pary wodnej w gazie. Nie przedstawia jednak argumentacji przemawiającej za przyjęciem takich wielkości, jak również ich wartości i zakresów. Nie komentuje również uzyskanych wyników (np. odnośnie przebiegu krzywych). W tej części nie jest również przedstawiona walidacja modelu przy przejściu z trybu ogniwa paliwowego do elektrolizera (lub odwrotnie).

W rozdziale 6 Doktorant przedstawia najważniejsze wyniki analiz wykonanych z wykorzystaniem opracowanego narzędzia. Wyniki przedstawione są na wykresach w sposób interesujący i czytelny, jednak ponownie brakuje nieco komentarza odnośnie przyjmowanych założeń (np. udziału poszczególnych składników mieszanin, zakresów strumieni), a także odnośnie uzyskanych wyników. Także podpisy pod rysunkami, w szczególności rys 6.8-6.11, nie są w pełni jasne (z opisu nie wynika co oznacza zmienny przepływ powietrza). Szkoda, że nie zostały przedstawione także inne wielkości charakteryzujące ogniwa SOC, np. składy gazów wylotowych, sprawności czy moce.

Rozdział 7 stanowi dyskusję uzyskanych wyników. Rozdział ten jest stosunkowo krótki (nieco ponad 3 strony) i nieco nieuporządkowany. W mniemaniu Recenzentki brakuje szerszej dyskusji uzyskanych wyników, a także odniesienia (porównania) do wyników uzyskiwanych przez innych badaczy. W szczególności brakuje również podsumowania dotyczącego zakresów możliwości wykorzystania opracowanego narzędzia, jego uniwersalności (np. w stosunku do różnych konstrukcji ogniw) oraz ewentualnych ograniczeń stosowalności.

Ostatni rozdział stanowi zgrabne podsumowanie zrealizowanych prac badawczych. Doktorant wskazuje najważniejsze osiągnięcia i stwierdza, że opracowane narzędzie numeryczne może zostać wykorzystane do realizacji złożonych obliczeń w ramach dalszych prac B+R, jak również przy projektowaniu w pełni funkcjonalnych instalacji elektrolizy oraz układów pracujących naprzemiennie w trybach ogniwa paliwowego i elektrolizera. W mniemaniu Recenzentki nieco brakuje choć ogólnego zarysowania kierunku przyszłych działań w obszarze przedstawionej w pracy problematyki, co lepiej potwierdziłoby zasadność wykonanych prac.

### **3. PODSTAWOWE OSIĄGNIĘCIA BADAWCZE**

Analizując całość rozprawy, za podstawowe merytoryczne osiągnięcia badawcze pracy i elementy nowości należy uznać:

1. Przeprowadzenie głębokich badań literaturowych dotyczących zagadnień modelowania ogniw stałotlenkowych SOC,
2. Opracowanie modelu matematycznego modułu stałotlenkowych ogniw elektrochemicznych dla symulacji ich pracy w stanach ustalonych i nieustalonych, opierającego się wyłącznie na fizycznych parametrach ogniw i stosów,
3. Budowę narzędzia numerycznego do symulacji pracy ogniw SOC, w tym przede wszystkim do symulacji przełączania się między trybami elektrolizy na ogniwo paliwowe i odwrotnie,
4. Przeprowadzenie walidacji modelu w oparciu o badania eksperymentalne,
5. Zaproponowanie koncepcji układu sterowania stosem rSOC i przedstawienie algorytmu sterowania,
6. Przeprowadzenie symulacji degradacji ogniwa w wyniku jego eksploatacji oraz analizy sposobu regeneracji zdegradowanego ogniwa poprzez cykliczne przełączanie się w tryb ogniwa paliwowego.

#### 4. PODSTAWOWE UWAGI KRYTYCZNE I DYSKUSYJNE

Oprócz niewątpliwie bardzo ciekawych i wartościowych z poznawczego punktu widzenia elementów recenzowana praca zawiera również nieco elementów dyskusyjnych.

1. Brak jest jasno sformułowanej tezy badawczej, która została zweryfikowana w ramach prowadzonych badań. Ponadto Autor stwierdza, że temat odwracalnych stałotlenkowych ogniw elektrochemicznych nie został jeszcze wyczerpany, co prosi się o wskazanie głównych wyzwań dla dalszych prac, w tym wskazanie, w jaki sposób niniejsza praca odpowiada tej luce.
2. Autor wprowadza pojęcie pierwszej generacji ogniw, ale nie pojawiają się definicje kolejnych generacji.
3. W rozdziale 2.1.1 brakuje wyjaśnienia od czego zależą opisywane parametry ogniw – np. stan termoneutralny. Z opisu można mylnie wywnioskować, że stan ten zawsze odpowiada temperaturze 700°C, niezależnie od konstrukcji i rodzaju ogniwa.
4. Rozdział 3 poświęcony jest tematyce modelowania i symulacji pracy stałotlenkowych ogniw elektrochemicznych, zarówno w stanach ustalonych jak i nieustalonych. Zawarto tu obszerny przegląd literatury. Z uwagi na tematykę rozprawy wskazane byłoby podkreślenie możliwości wykorzystania poszczególnych z przedstawianych modeli, ale przede wszystkim ich ograniczeń, które dla Doktoranta wydawały się najistotniejsze, stanowiąc motywację podjętych działań.
5. W rozdziale 2.3 sporo uwagi poświęcone zostało układom zasilanym metanem, dobrze byłoby zatem wyjaśnić istotę działania, bądź też różnice w stosunku do ogniw zasilanych wodorem. Podobnie, Autor przytacza rozwiązania układów, w których ogniwa SOC są sprzężone z turbinami gazowymi i parowymi, nie wyjaśniając istoty i celu takich połączeń.
6. Przedstawiony model do symulacji stanów nieustalonych bazuje na wcześniejszych pracach prowadzonych przez Promotora niniejszej rozprawy. Poza opracowaniem przez Doktoranta algorytmu sterowania stosem rSOC, który został zaimplantowany do modelu, nie jest jasne jaki był jego udział w budowie modelu, które elementy stanowią jego nowatorskie podejście, czy też jakie modyfikacje względem oryginalnego modelu zostały opracowane.
7. Do walidacji modelu Autor wykorzystał krzywe prądowo-napięciowe, zarówno dla trybów pracy SOE i SOFC, jak i dla działania modułu rSOC w stanach nieustalonych. Na kolejnych rysunkach przedstawia charakterystyki dla różnych uzmiennianych wielkości – przepływu wodoru oraz stężenia molowego pary wodnej w gazie. Nie przedstawia jednak argumentacji przemawiającej za przyjęciem takich wielkości, jak również ich wartości i zakresów. Nie komentuje również uzyskanych wyników (np. odnośnie przebiegu krzywych). W tej części nie jest również przedstawiona walidacja modelu przy przejściu z trybu ogniwa paliwowego do elektrolizera (lub odwrotnie). Stąd pytanie, czy taka walidacja została przeprowadzona.
8. W pracy brakuje podsumowania dotyczącego zakresów możliwości wykorzystania opracowanego narzędzia, jego uniwersalności (np. w stosunku do różnych konstrukcji ogniw) oraz ewentualnych ograniczeń stosowalności.
9. W pracy przytaczane są różne sprawności – celowe byłby podanie ich definicji, gdyż mogą one być różnie interpretowane. Przykładowo, Autor posługuje się sprawnością elektryczną, sprawnością całkowitą, sprawnością instalacji, sprawnością układu czy też po prostu sprawnością.

## 5. INNE UWAGI

Praca została wydana w formie książkowej, w formacie B5. Praca jest estetyczna i wygodna dla czytelnika. Napisana jest językiem technicznym. Błędy i niedociągnięcia natury merytorycznej, stanowiące podstawę do dyskusji podczas obrony doktoratu, wskazano w punkcie 4 niniejszej recenzji. Praca, choć od strony graficznej wykonana estetycznie, zawiera dość sporo różnego typu usterek redakcyjnych, błędów językowych i nieścisłości gramatycznych. Występowanie niektórych z nich jest o tyle dziwne, że są sygnalizowane przez sam edytor tekstu. Poprawki zostały przekazane Doktorantowi. Tu, ze względów praktycznych, wymieniam tylko niektóre:

1. Wskazane byłoby podanie definicji układów Power to Gas – w literaturze najczęściej oznacza to układy produkujące wodór. Gdy wodór przekształcany jest w inne paliwo lub energię, odpowiednio zmieniana jest nazwa (np. Power to Energy, Power to SNG).
2. Brak jest nawiązania w tekście do niektórych rysunków (Rys. 2.3.1 do 2.3.9). Niektóre podpisy pod rysunkami są zbyt skrótowe (np. 5.3.2, 5.3.8).
3. W przypadku reakcji chemicznych właściwe jest raczej używanie pojęcia entalpii tworzenia, a nie entalpii właściwej, jak pisze Autor (s. 34).
4. Na rys 1.1 błędnie opisano oś rzędnych, podając zapotrzebowanie systemu w MW, ewentualnie niejasno opisano, czego dotyczy zapotrzebowanie na energię (jakiego fragmentu systemu).
5. Brak jest opisu rysunku 2.1.1. (np. co to OX, Hy).
6. Brak skrótu „Rys.” w opisie rys. 2.1.2, 2.1.4-2.1.8.
7. Są dwa równania o numerze (13).
8. Ułamki dziesiętne powinny być pisane konsekwentnie z przecinkiem (wykresy).
9. Być może niepotrzebna jest tak głęboka numeracja rysunków (3 liczby).
10. W stosunku do policzalnych wielkości stosuje się słowo liczba, nie ilość.
11. Brak jest niektórych oznaczeń w spisie skrótów i spisie symboli (np. SGE, EI, I,  $D^{eff}$ ,  $\eta_{act}$ ,  $\eta_{con,FE}$ ,  $\eta_{con,OE}$ ,  $\eta_{kon,FE}$ ,  $\eta_{kon,OE}$ ,  $\eta_{pal}$ ,  $\eta_{ox}$ ,  $\lambda_{O2}$ , itd.).
12. Kilka wielkości oznaczanych jest symbolem  $\eta$ , który najczęściej jest wykorzystywany do określania sprawności. Powoduje to pewną dezorientacją dla czytelnika (np. współczynnik wykorzystania paliwa, nadpotencjał, a także sprawność).

## 6. WNIOSEK KOŃCOWY

Opiniowana praca doktorska stanowi interesujący i wartościowy wkład w zastosowanie modelowania matematycznego oraz metod doświadczalnych do badań procesów zachodzących w stałotlenkowych ogniwach elektrochemicznych. Z treści rozprawy wnioskuję, że Doktorant posiada zarówno wiedzę teoretyczną jak i praktyczne umiejętności w zakresie prowadzenia prac eksperymentalnych. Wiedza ta umożliwiła opracowanie narzędzia symulacyjnego o szerokiej użyteczności. Badania modelowe zostały zweryfikowane na podstawie badań eksperymentalnych przeprowadzonych przy współudziale

Autora. Opracowane narzędzie jest na tyle uniwersalne, że może być wykorzystywane nie tylko do dalszych badań B+R ale także w praktyce, przy projektowaniu instalacji z ogniwami rSOC.

Przedstawiony program badań został właściwie zaplanowany i konsekwentnie zrealizowany. Badania modelowe zostały zweryfikowane na podstawie zebranych przez Autora informacji literaturowych oraz danych eksperymentalnych. Przedstawiono również wyniki analiz z wykorzystaniem opracowanego narzędzia. Opracowane kody komputerowe są uniwersalne i mogą być wykorzystywane w praktyce przy doborze i projektowaniu przemysłowych elektrociepłowni zintegrowanych z różnymi procesami technologicznymi.

Przedstawione w recenzji uwagi nie umniejszają mojej bardzo pozytywnej oceny pracy. Większość uwag dotyczących pracy ma zresztą charakter dyskusji bądź wskazówek dotyczących przyszłych kierunków badań. Układ logiczny rozprawy i jej strona redakcyjna są w miarę poprawne, choć może warto było poświęcić nieco więcej czasu na usunięcie stosunkowo licznych usterek natury stylistycznej i gramatycznej.

Biorąc to wszystko pod uwagę stwierdzam, że cel pracy został osiągnięty, a Autor wykazał się umiejętnością samodzielnego formułowania problemów naukowych i ich rozwiązywania. Z całym przekonaniem uważam więc, że przedstawiona praca doktorska mgra inż. Konrada Motylińskiego pt. *Modelowanie dynamiki pracy modułów do produkcji wodoru lub energii elektrycznej i ciepła, opartych na stałotlenkowych ogniwach elektrochemicznych* odpowiada warunkom stawianym rozprawom doktorskim w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki, a także w Ustawie Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce. W związku z powyższym stawiam wniosek o skierowanie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.

Anna Skonch-Oskawka