

Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki  
Instytut Gospodarki Surowcami  
Mineralnymi i Energią PAN  
ul. J. Wybickiego 7a, 31-261 Kraków  
email: [mokrzy@min-pan.krakow.pl](mailto:mokrzy@min-pan.krakow.pl)

Kraków, 10.12.2018

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Anny KARBOWNICZAK-MIŚTAŁ  
pt.: *Modelowanie systemu magazynowania energii z konwersji fotoelektrycznej  
w akumulatorze przemiany fazowej*

### 1. Podstawa formalna recenzji

Przedmiotową recenzję opracowałem jako recenzent wyznaczony przez Radę Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Pismo o znakach DWIPIE/520-792/2018 w dniu 23 listopada 2018 r. wystosował do mnie Dziekan Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki – prof. dr hab. inż. Sławomir Kurpaska, wynikające z uchwały Rady tegoż Wydziału z dnia 25 stycznia 2018 r.

### 2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr. inż. Anny Karbowniczak-Miśtał powstała pod kierunkiem Pana dr. hab. inż. Huberta Latały, pełniącego w przewodzie doktorskim obowiązki promotora oraz Pana dr. inż. Krzysztofa Nęcki – promotora pomocniczego.

Praca liczy łącznie 199 stron i składa się z 12. rozdziałów, w tym z wstępu i wniosków oraz spisu literatury i załącznika. W zasadniczej części pracy zamieszczono 66 rysunków oraz 47 tabel. Uzupełnieniem pracy są również spisy ważniejszych skrótów i oznaczeń, tabel i rysunków. Spis literatury obejmuje 241 pozycji reprezentatywnych dla tematu dysertacji, w tym 60 pozycji w języku polskim oraz 12 pozycji – ustawy, rozporządzenia, normy.

Rolnictwo jest specyficzną gałęzią gospodarki, gdyż może być traktowane zarówno jako użytkownik jak i producent energii, a więc jest prosumentem. Zużycie energii w rolnictwie stanowi 12–15% całkowitego zużycia energii w kraju i cechuje się w porównaniu z innymi krajami UE wysoką energochłonnością produkcji rolnej (około 15 GJ/(ha rok)), zwłaszcza w uprawach pod osłonami. Ponadto wzrastające ceny energii elektrycznej powodują zwiększenie zainteresowania odnawialnymi źródłami energii, przede wszystkim instalacjami fotoelektrycznymi. Prawidłowo dobrana instalacja fotowoltaiczna może przyczynić się do pokrycia częściowego zapotrzebowania na energię elektryczną w ciągu dnia, a w przypadku zastosowania akumulatorów również w porze nocnej. Praca poświęcona jest zagadnieniu w pełni aktualnemu, wpisując się w prowadzone w szeregu ośrodkach krajowych

i zagranicznych badania związane z konwersją energii promieniowania słonecznego, w tym optymalizacją pracy i konstrukcją coraz bardziej efektywnych urządzeń.

Pracę umownie można podzielić na dwie części, wzajemnie przenikające się:

- część pierwsza, obejmująca problematykę z zakresu krajowej elektroenergetyki (rozdział 2), wykorzystanie energii elektrycznej z odnawialnych źródeł (rozdział 3), krajową fotowoltaikę (rozdział 4), techniki prognozowania uzysku energii elektrycznej (rozdział 5), sposoby magazynowania energii elektrycznej (rozdział 6), magazynowanie energii w systemach TES (*Thermal Energy Storage*) (rozdział 7),
- część druga, obejmująca cel i zakres pracy (rozdział 8), przedmiot badań i metody pomiaru (rozdział 9), metodykę przeprowadzonych badań (rozdział 10), wyniki badań (rozdział 11) oraz podsumowanie (rozdział 12).

Struktura pracy jest ogólnie poprawna. Strona formalna – zasadniczo właściwa. Praca napisana jest dobrym językiem naukowo-technicznym.

### **3. Charakterystyka tematu oraz celu rozprawy**

Tematyka rozprawy doktorskiej *Modelowanie systemu magazynowania energii z konwersji fotoelektrycznej w akumulatorze przemiany fazowej* jest istotna zarówno z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia. Poznawcze znaczenie to pozyskanie nowej wiedzy przy wykorzystaniu metod i technik matematycznych, która pozwoli na opracowanie oryginalnej metody optymalizacji procesu magazynowania energii z instalacji fotowoltaicznych w akumulatorze przemiany fazowej. Dlatego też podjęcie realizacji tematu pracy doktorskiej z tego zakresu przez mgr. inż. Annę Karbowniczak-Miśtał jest bardzo cenne. Praktyczne znaczenie to ocena procesu termicznego magazynowania energii i materiału przemiany fazowej PCM (*Phase Change Materials*). Obecnie magazynowanie energii z wykorzystaniem ciepła właściwego i ciepła przemiany fazowej w produkcji rolniczej (procesy suszarnicze, przygotowanie wody technologicznej, ogrzewanie obiektów szklarniowych) jest celowe i uzasadnione.

Magazynowanie energii jest to zagadnienie, którego złożoność wynika głównie z wieloaspektowej natury materiałów przemiany fazowej, problemów i trudności z uzyskaniem danych pomiarowych parametrów procesów zachodzących w czasie w akumulatorze PCM.

Celem pracy było zbudowanie modelu magazynowania energii pochodzącej z konwersji fotoelektrycznej w akumulatorze przemiany fazowej, który posłużył do określenia wymaganej mocy siłowni fotoelektrycznej do efektywnego wykorzystania jego pojemności cieplnej. Cel ten obejmował realizację modeli:

- uzysku energii elektrycznej z konwersji promieniowania słonecznego dla badanych ogniw fotowoltaicznych,
- magazynowania ciepła w akumulatorze PCM,
- strat energii w akumulatorze PCM,
- gromadzenia energii z konwersji fotoelektrycznej w akumulatorze.

Doktorantka w pracy postawiła hipotezę, która ma następujące brzmienie: *Wielkość i typ instalacji fotowoltaicznej współpracującej z akumulatorem PCM mogą być określone przez opracowane modele na podstawie danych zbieranych podczas obserwacji procesu magazynowania energii w obiekcie rzeczywistym.*

W celu wyjaśnienia postawionej hipotezy Doktorantka przedstawiła następujące etapy badań:

- zebranie danych charakteryzujących uzysk energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznych,
- zebranie danych charakteryzujących zdolność magazynowania energii w parafinie R-58,
- modelowanie uzysku energii elektrycznej z siłowni fotoelektrycznej,
- modelowanie procesu gromadzenia energii w akumulatorze PCM,
- analizę wyników opracowanych modeli i wybór optymalnego modelu,
- ocenę wskaźnika magazynowania energii elektrycznej w akumulatorze PCM.

Pozytywnie oceniam fakt, że Doktorantka podjęła tak złożony i bardzo aktualny problem, zajmując się w rozprawie modelowaniem systemu magazynowania energii elektrycznej w akumulatorze PCM.

Jak już zaznaczyłem, zagadnienie jest złożone, a jego analiza kłopotliwa i trudna. Jednocześnie należy podkreślić, że podjęcie badań w tym temacie jest ważne nie tylko ze względu na znaczenie poznawcze, ale i użyteczne.

Stąd też wynika moja pozytywna ocena zarówno tematu, jak i zakresu badań podjętych przez Doktorantkę.

#### **4. Ogólne omówienie pracy**

Poszczególne rozdziały dysertacji omawiam w sposób bardzo syntetyczny, formułując oceny cząstkowe składające się na finalną ocenę merytoryczną pracy.

Rozdział 1 Wstęp (s. 7–8) stanowi rzeczowe wprowadzenie w tematykę dysertacji.

Treścią rozdziału 2. (s. 9–11) było omówienie stanu obecnej krajowej elektroenergetyki oraz bezpieczeństwa energetycznego.

W rozdziale 3. (s. 12–22) Doktorantka przedstawia ogólne informacje dotyczące wytwarzania energii elektrycznej w świecie oraz perspektywy jej wytwarzania z odnawialnych źródeł energii w Polsce. Zwróciła uwagę na obecny miks energetyczny w kraju, jak również na regulacje krajowe (determinowane regulacjami Unii Europejskiej) dotyczące OZE. Zwróciła również szczególną uwagę na aspekt ekologiczny wytwarzania energii elektrycznej z OZE, który ma istotne znaczenie dla ochrony środowiska przyrodniczego, a tym samym ochrony klimatu.

W rozdziale 4. (s. 23–44) Doktorantka omówiła, poczynając od przedstawienia różnych metod konwersji energii promieniowania słonecznego, poprzez mechanizm fotowoltaiczny i podział ogniw fotowoltaicznych i ich właściwości wykonanych z krzemu w różnych technologiach, a na konfiguracji generatorów fotowoltaicznych kończąc. Następnie przybliżyła moc zainstalowaną w fotowoltaice w krajach UE oraz jej trendy (tylko w wybranych krajach UE), jak również dane dotyczące liczby i mocy instalacji fotowoltaicznych w poszczególnych województwach. Rozdział kończy się podsumowaniem wykorzystania systemów fotowoltaicznych w rolnictwie, które obecnie stanowiącą będą dominującą technologią nowych mocy wytwórczych wśród OZE.

W rozdziale 5. (s. 45–48) Doktorantka przybliżyła główne metody prognozowania energii, a więc: metody szeregów statystycznych i czasowych (sztuczna sieć neuronowa SSN, sieci neuronowe typu SVM, łańcuch Markowa, modele autoregresyjne, modele regresyjne), metody fizyczne (numeryczna prognoza pogody, NWP, zdjęcie nieba, modele z obrazowaniem satelitarnym), metody zespołowe (kombinacja metod statystycznych lub fizycznych). Należy podkreślić, że prognozowanie zużycia energii (podaż, popyt) ma kluczowe znaczenie w podejmowaniu świadomych decyzji dotyczących infrastruktury energetycznej służącej do wytwarzania i dystrybucji energii.

W rozdziale 6. (s. 49–65) Doktorantka przybliżyła kategorie metod magazynowania energii elektrycznej, jak również ograniczenia stosowania tych metod. Zwróciła uwagę na sposoby magazynowania energii wytwarzanej przez instalacje fotowoltaiczne. Przede wszystkim skupiła uwagę na termicznym magazynowaniu energii TES (*Thermal Energy Storage*), dokonała przeglądu prac dotyczących badań procesu wymiany ciepła i przemiany fazowej w systemach TES, omówiła systemy magazynowania energii cieplnej oparte na magazynowaniu z wykorzystaniem ciepła właściwego lub z wykorzystaniem ciepła utajonego, bądź ich kombinacją. Następnie dokonała klasyfikacji materiałów fazowo-zmiennych PCM (*Phase Change Materials*), które mogą być użyte do magazynowania energii, zwłaszcza w ogrodnictwie dla uprawy pod osłonami. Dokonała szerokiego przeglądu prac dotyczących różnych metod ogrzewania i magazynowania ciepła w szklarni.

W rozdziale 7. (s. 66–68) przedstawiła przegląd modelowania magazynowania energii w systemach TES, opartych na materiałach PCM. Podkreślono rolę i znaczenie modelowania numerycznego jako potencjalnego narzędzia optymalizacji efektywności termicznych urządzeń magazynujących.

Rozdział 8 (s. 69–70) dotyczy problemu badawczego, celu i zakresu dysertacji oraz zaproponowanej hipotezy.

Rozdział 9 (s. 71–82) dotyczy przedmiotu badań i metod pomiaru. Przedmiotem badań była siłownia fotoelektryczna znajdująca się na terenie Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, w skład której wchodziły 3 rodzaje modułów fotowoltaicznych: monokrystaliczne (moc 4,2 kWp), polikrystaliczne (moc 4,27 kWp) i cienkowarstwowe CIGS (moc 4,4 kWp). Instalacja funkcjonuje w połączeniu z siecią za pomocą trzech inwerterów trójfazowych o mocy 4,5 kW każdy i ukierunkowana jest na południe pod kątem nachylenia 32 stopnie. Parametry eksploatacyjne systemu fotowoltaicznego były monitorowane i archiwizowane w sposób ciągły za pomocą komputerowego systemu pomiarowego. Podczas badań mierzono:

- uzysk energii elektrycznej napięcia stałego,
- uzysk energii elektrycznej napięcia zmiennego,
- natężenie promieniowania słonecznego,
- temperaturę otoczenia, ogniw fotowoltaicznych.

Drugim przedmiotem badań był prototyp akumulatora przemiany fazowej magazynujący energię wytworzoną w siłowni fotowoltaicznej. Do pomiaru ilości energii elektrycznej dostarczonej do akumulatora wykorzystano mierniki typu N43. Medium magazynującym ciepło w akumulatorze przemiany fazowej była parafina R-58 o masie 750 kg. W celu oszacowania ilości energii zmagazynowanej w akumulatorze konieczne było wyznaczenie właściwości termofizycznych parafiny: temperatury przemiany fazowej i ciepła

przemiany fazowej oraz ciepła właściwego oznaczonych metodą kalorymetrii skaningowej DSC (*Differential Scanning Calorimetry*).

Rozdział 10 (s. 83–95) obejmuje metodykę przeprowadzonych badań. Do realizacji modelu magazynowania energii z konwersji fotoelektrycznej niezbędne są następujące etapy – modelowań: uzysk energii elektrycznej z siłowni fotoelektrycznej, ilość zgromadzonej energii w akumulatorze PCM, straty energii, jak również ocena jakości modeli predykcyjnych. Doktorantka szacując uzysk energii z siłowni fotowoltaicznej postępowwała zgodnie z opracowanym algorytmem, który został przedstawiony w pracy. Zmienne niezależne do modelowania uzysku energii elektrycznej to: całkowite natężenie promieniowania słonecznego, temperatura powietrza zewnętrznego i temperatura pracy ogniwa. Dane te pobrano z komputerowego systemu pomiarowego, w którym były archiwizowane w dwuminutowych interwałach czasowych w okresie od kwietnia do września w latach 2016 i 2017. Zgromadzone informacje podzielono na zbiory: uczący (70% obserwacji każdego miesiąca), walidacyjny (30% obserwacji każdego miesiąca), w przypadku budowy sztucznych sieci neuronowych ze zbioru uczącego wyodrębniono 20% końcowych jego obserwacji w poszczególnych miesiącach jako zbiór testowy. Ze względu na bardzo obszerną bazę procesów (pomiaru co 2 minuty), dokonano agregacji wyników pomiarów do 15. minutowych okresów.

Opracowano prognozy w oparciu o następujące modele:

- sztuczne sieci neuronowe SSN,
- wzmacniane drzewa regresyjne BRT (*Boosting Regression Trees*),
- wyczerpujący CHAID dla regresji (*Chi-squared Automatic Interaction Detection*),
- standardowe drzewa regresyjne CRT, C&RT (*Classification and Regression Trees*),
- standardowa regresja wieloraka SMR (*Standard Multiple Regression*),
- losowy las RF (*Random Forest*),
- MARSplines (*Multivariate Adaptive Regression Splines*).

Modelowanie ilości zgromadzonej energii w akumulatorze PCM przeprowadzono zgodnie z opracowanym przez Doktorantkę algorytmem. Dokonano powtórzeń 4. cykli ładowania akumulatora w zakresie temperatury parafiny 20–70°C. Do oszacowania ilości energii zmagazynowanej w złożu zostały wykorzystane zależności z podziałem na poszczególne stany materii (parafiny) opracowane przez Regina i in (2008, 2009) : stan I (ciało stałe), stan II (przejście fazowe ciała stałego w temperaturze około 10°C poniżej temperatury topnienia), stan III (przejście fazowe ciała stałego – ciecz), stan IV (ciecz).

Podobnie jak przy modelowaniu uzysku energii z siłowni dokonano agregacji wyników pomiarów do 15. minutowych okresów.

W związku z tym, że proces ładowania akumulatora nie może przebiegać w sposób ciągły (niska ilość generowanej energii z PV, aby uruchomić proces ładowania akumulatora),

Doktorantka opracowała model strat ciepła w funkcji temperatury parafiny oraz temperatury wewnątrz tunelu foliowego, wykorzystując analogiczny zestaw modeli (SSN, RF, BRT, SMR, CHAID, CRT, MARS) jak w poprzednich analizach.

Jakość opracowanych modeli Doktorantka oceniła na podstawie:

- absolutnego błędu prognozy APE (*Absolute Percentage Error*),
- średniego względnego błędu prognozy MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*),
- udziału różnic bilansowych w odniesieniu do sumy wartości rzeczywistych ESRT,
- średniego kwadratu reszt MSE (*Mean Squared Error*).

W rozdziale 11. (s. 96–154) dokonano oceny wyników badań: określenie właściwości fizycznych parafiny R-58, modelowania uzysku energii elektrycznej z paneli mono- i polikrystalicznych oraz cienkowarstwowych, procesu gromadzenia energii elektrycznej w akumulatorze PCM, magazynowania energii z konwersji fotoelektrycznej w postaci energii wewnętrznej złoza. Badania właściwości materiału zmiennie-fazowego (parafina R-58) w złożu magazynującym przeprowadzono techniką DSC (*Differential Scanning Calorimetry*). Stwierdzono, że ciepło właściwe parafiny w zakresie temperatur 20–70°C zmienia się w przedziale 2,07–26 kJ(kgK)<sup>-1</sup>.

Sprawdzono przydatność siedmiu metod prognozowania uzysku energii elektrycznej z poszczególnych typów modułów fotowoltaicznych. Do wyznaczania uzysku energii elektrycznej z siłowni fotowoltaicznej zbudowanej na bazie modułów mono- i polikrystalicznych oraz modułów cienkowarstwowych CIGS wykorzystane zostały modele SSN.

W przypadku modelowania procesu magazynowania energii sprawdzono przydatność do tego celu analogicznego zestawu metod jak przy modelowaniu uzysku energii z siłowni fotowoltaicznych. Do badań wybrano również model SSN, który charakteryzował się błędami MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) na poziomie poniżej 2%, zarówno dla zbioru uczącego i walidacyjnego oraz błąd ESRt na poziomie 1%. W przypadku modelu wyznaczenia strat zmagazynowanej energii najlepszą efektywnością wykazał się również model SSN. Z przeprowadzonej analizy wynika, że akumulator o masie złoza 750 kg umożliwi dobór źródła fotowoltaicznego generującego energię elektryczną w ciągu doby nie mniejszą niż 70 kWh; w akumulatorze zostanie zgromadzone nie mniej niż 60 kWh energii, a temperatura parafiny osiągnie 60°C. Średnia efektywność gromadzenia energii promieniowania słonecznego będzie na poziomie 11%.

Rozdział 12. (s. 155–158) stanowi podsumowanie oraz propozycję dalszych badań, wynikających z rezultatów dysertacji.

Załącznik (s. 159–166) jest Kartą Charakterystyki parafiny R-58.

W wyniku przeprowadzonych przez Doktorantkę badań potwierdzona w pracy hipoteza została zweryfikowana pozytywnie. Opracowane modele umożliwią dobór poszczególnych elementów do systemu magazynowania energii z konwersji fotoelektrycznej.

## **5. Rozwiązanie postawionego problemu**

Problem naukowy i użyteczny został rozwiązany w rozdziałach 8–11, gdzie Doktorantka sprecyzowała założenia metodyczne i dokonała wnikliwej analizy: przedmiotu badań i metod pomiaru, właściwości fizycznych parafiny R-58, modelowania uzysku energii elektrycznej z paneli monokrystalicznych, polikrystalicznych i cienkowarstwowych, modelowania procesu ładowania akumulatora PCM.

Za oryginalne osiągnięcia Doktorantki uważam:

- model uzysku energii elektrycznej z siłowni fotowoltaicznej dla poszczególnych typów ogniw fotowoltaicznych,
- model szacujący ilość zgromadzonej energii w akumulatorze PCM, w tym modele: procesu magazynowania energii w akumulatorze oraz strat energii w tym akumulatorze.

## 6. Uwagi i kwestie dyskusyjne

Uważam, że rozprawa została napisana stosunkowo zwięźle, klarownie i logicznie. Układ pracy jest prawidłowy, a kolejność rozdziałów nie budzi zastrzeżeń. Język użyty w pracy jest prawidłowy i tylko w niewielu miejscach wymaga korekty. Doktorantka nie ustrzegła się jednak drobnych usterek o różnym charakterze, w tym redakcyjnych, stylistycznych. W tekście występują: błędy literowe, błędy odmiany wyrazów, skróty myślowe i niekiedy – mało precyzyjny opis.

### Uwagi

- należy w tekście unikać sformułowania *aktualna*, lepiej napisać *obecna*,
- wielkości liczbowe zamieszczone w tabeli począwszy od czterech cyfr powinny być napisane z odstępem co trzy cyfry, natomiast w tekście dopiero od pięciu cyfr,
- stwierdzenie na str. 17, w. 10d jest błędne: *Poprawa wydajności wytwarzania energii elektrycznej ...*, powinno być: *Poprawa efektywności wytwarzania energii elektrycznej ...*,
- błędne sformułowania, strony: 23, 27, 62, 76, 101,
- str. 33 jest *zacienie* (6x), powinno być *zacienienie*,
- str. 37, rys. 8: brak opisu osi współrzędnych,
- brak powołania się w tekście na
  - rysunki: 8, 10, 11, 14, 30, 31, 32, 34, 38–45, 49, 50, 54–60,
  - tabele: 15, 16, 18, 21, 23, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 39, 40, 41, 43–46,
- str. 39, w. 4g jest: *589 systemów*, a na str. 40 (tab. 6, kolumna 4, ostatni wiersz) jest liczba 588, która jest prawdziwa?

Reasumując, pragnę jednocześnie stwierdzić, że nie mam żadnych wątpliwości co do tego, że Doktorantka prawidłowo zrealizowała zamierzony cel pracy i udowodniła postawioną hipotezę. Nie mam również wątpliwości, że oceniana praca jest udanym eksperymentem badawczym, zrealizowanym na dobrym poziomie merytorycznym, a omawiany w niej problem ma duże znaczenie poznawcze jak i użyteczne. Tym samym chcę zaznaczyć, że wymienione powyżej uwagi nie umniejszają mojej wysokiej oceny dysertacji.

### Pytania do Doktorantki

Wnikliwa lektura pracy nasunęła mi następujące pytania:

1. Jak kształtuje się opłacalność ekonomiczna magazynowania energii generowanej z instalacji fotowoltaicznej Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego W Krakowie?
2. Proszę opisać model promieniowania słonecznego podany przez Liu i Jordana?
3. Na stronie 55. dysertacji wspomina Pani o energii i egzergii; proszę przybliżyć wyjaśnienia tych pojęć?

## 7. Ocena pracy jako rozprawy doktorskiej

Uważam, że zarówno zakres pracy, jak również metoda opracowania i przedstawienia problemu są właściwie ujęte i odpowiednio dobrane. Przedstawienie w pracy doktorskiej tak

szerokiego materiału wymagało od Doktorantki dobrej znajomości problemów związanych z modelowaniem matematycznym złożonych procesów magazynowania energii w akumulatorze przemiany fazowej. Otrzymane wyniki pracy stanowią niezaprzeczalny oryginalny dorobek naukowy Doktorantki.

## 8. Wniosek końcowy

Reasumując, stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Anny Karbowniczak-Miśtał *Modelowanie systemu magazynowania energii z konwersji fotoelektrycznej w akumulatorze przemiany fazowej* dzięki wartości poznawczej oraz użytkowej spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku *O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. z 2003 r., nr 65, poz. 565; Dz. U. z 2005, nr 164, poz. 1365; Dz. U. z 2010 r., nr 96, poz. 620, nr 182, poz. 1229; Dz. U. z 2011, nr 84, poz. 455; Dz. U. z 2016 r., nr 0, poz. 882), stawiane rozprawom doktorskim. Zawiera bowiem oryginalne rozwiązania zagadnienia naukowego oraz dowodzi odpowiedniej wiedzy Doktorantki, przede wszystkim z zakresu odnawialnych źródeł energii, a w szczególności przetwarzania energii słonecznej w instalacjach fotoelektrycznych.

Uważam, że podjęta przez Doktorantkę tematyka badawcza jest trudna, ale ważna i istotna, przede wszystkim ze względu na perspektywy rozwoju energetyki słonecznej w Polsce poprzez jej szersze wykorzystanie w rolnictwie w uprawach pod osłonami. Uzyskane przez Nią wyniki badań analitycznych mają, w moim przekonaniu, dużą wartość merytoryczną. Jestem również przekonany, że mgr inż. Anna Karbowniczak-Miśtał jest w pełni przygotowana do samodzielnego prowadzenia pracy naukowo-badawczej

**Na tej podstawie wnioskuję do Rady Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Anny Karbowniczak-Miśtał zatytułowanej *Modelowanie systemu magazynowania energii z konwersji fotoelektrycznej w akumulatorze przemiany fazowej* i dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

W mojej ocenie, Doktorantka może ubiegać się o nadanie stopnia naukowego doktora nauk rolniczych w dyscyplinie inżynieria rolnicza.

**Jednocześnie, biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny przedstawionej pracy doktorskiej, wnioskuję do Rady Wydziału Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie o jej wyróżnienie.**

