

Prof. dr hab. inż. Jerzy Szkutnik
Akademia nauk Stosowanych
Angelusa Silesiusa
Wydział Nauk Przyrodniczych i Technicznych
ul. Zamkowa 4
58-300 Wałbrzych

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jacka Romana „ Układy zgazowania odpadów komunalnych w hybrydowych instalacjach odnawialnych źródeł energii”

Wstęp

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka z dnia 21 października 2025 r. o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Jacka Romana oraz pisma Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego WISIE.63.2025.68 z dnia 24 października 2025 r.

Recenzja zawiera następujące części:

1. Ogólną charakterystykę rozprawy,
2. Charakterystykę tematu oraz tez rozprawy,
3. Rozwiązanie postawionego problemu naukowego,
4. Uwagi i kwestie dyskusyjne,
5. Ocenę pracy jako rozprawy doktorskiej,
6. Wniosek końcowy.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa zawiera Rozprawa zawiera 193 strony tekstu, podzielonego na 8 rozdziałów, spisu treści, streszczenia w języku polskim i angielskim listy skrótów i symboli, Literatury zawierającej 154 pozycji, wśród których jedynie 54 jest polskojęzycznych. Praca

stanowi zauważalny wkład do badań nad zagadnieniem nowoczesnych rozwiązań w zakresie hybrydowej produkcji energii elektrycznej, mają one charakter interdyscyplinarny, można je umieścić na styku nauk o zarządzaniu, ekonomii oraz nauk technicznych.

Wszystkie te aspekty uwzględnia w swych badaniach mgr. inż. Jacek Roman tworząc nowy wymiar wykorzystania układów zgazowania odpadów komunalnych przy produkcji energii elektrycznej jako komponent hybrydowych instalacji odnawialnych źródeł energii. Recenzent z olbrzymią satysfakcją przyjmuje ten punkt widzenia, ponieważ jest on tożsamy z dotychczasowymi opracowaniami własnymi

Badania przeprowadzone przez Autora dotyczą rynku energii, należy sobie zdawać sprawę ze specyfiki tego rynku, znacząco odróżniającego go od innych rynków, rynek energii jest rynkiem bardzo złożonym pod względem technicznym, ekonomicznym i prawnym. Konsumenci są na nim odbiorcami końcowymi, którzy dopiero od niedawna mogą pełnić nie tylko bierną, ale także aktywną rolę. Przemiany społeczno-ekonomiczne, wzrost świadomości dotyczącej potrzeby ochrony środowiska i klimatu oraz bardzo restrykcyjne wymagania stawiane tej branży pod kątem podnoszenia efektywności i sprawności energetycznej wymuszają na przedsiębiorstwach dystrybucyjnych konieczność wdrażania wielu zmian. Wśród tych zmian są innowacje energetyczne bez których będzie niemożliwy rozwój sektora energetycznego Polski. Mgr inż. Jacek Roman w swoich badaniach korzystała z najlepszych, zaawansowanych narzędzi ekonometrycznych przy opracowaniu modelu referencyjnego oraz pakietu rekomendacji dla użytkowników.

Wszystkie te aspekty zawiera prezentowana praca, składa się ona z następujących części:

Rozdział 1: Wstęp, zawiera on obszerne wprowadzenie do problematyki objętej badaniami, Dokonano analizy układu hybrydowego pracującego według zasad cable pooling'u, a dokładniej polskiej wersji tego pomysłu – tzn. hybrydowej instalacji OZE. Zaproponowany układ składa się z instalacji zgazowania frakcji energetycznych odpadów komunalnych, źródeł fotowoltaicznych, turbin wiatrowych oraz magazynu energii elektrycznej. Przeanalizowano pracę tego układu jedynie jako hybrydowej instalacji OZE (scenariusz A – HIOZE A) oraz jako instalacji zasilającej bezpośrednio odbiorcę przemysłowego i sprzedającej nadwyżki energii zgodnie z zasadami HIOZE (scenariusz B –

HIOZE B), dokonano szerokiego przeglądu literatury w tym obszarze, rozdział ten zawiera także prezentację tezę oraz główny cel pracy.

Ze względu na niestabilność warunków meteorologicznych, analiza instalacji hybrydowych musi uwzględniać zmienność pogody w czasie. Kluczowe zatem stają się rozptyły mocy w układzie w każdym analizowanym okresie. Ze względu na niestabilny charakter pracy źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych, nie jest możliwe wykorzystanie w pełni mocy przyłączeniowej. W celu zwiększenia wartości czasu wykorzystania mocy przyłączeniowej HIOZE niezbędne są źródła sterowalne i magazyny energii. Jednocześnie, generacja w źródłach fotowoltaicznych i wiatrowych (nieemisyjnych) powinna mieć pierwszeństwo względem pozostałych instalacji. Konieczne jest zatem powiązanie mocy źródeł OZE oraz baterijnego magazynu energii i agregatu silnikowego w ramach analizy HIOZE. W pracy wykorzystano współczynniki, które uwzględniają:

- moc agregatu silnikowego, zintegrowanego z instalacją zgazowania odpadów, do mocy niesterowalnych źródeł OZE – określanego przez współczynnik $PICE/PPV+TW$,
- moc baterijnego magazynu energii, przy określonej wartości współczynnika szybkości ładowania i rozładowania C-rate, do mocy niesterowalnych źródeł OZE – określanego przez współczynnik $PBME/PPV+TW$.

Właściwy dobór ich wartości jest kluczowym zagadnieniem, wpływającym zarówno na możliwość spełnienia wymagań dotyczących instalacji hybrydowych, jak i na wartości wskaźników energetycznych, ekonomicznych i środowiskowych definiujących pracę systemu hybrydowego. Wykorzystanie współczynników pozwala również uogólnić wyniki, które mogą być zastosowane do instalacji o innych mocach ale przy analogicznych wartościach współczynników $PICE/PPV+TW$ i $PBME/PPV+TW$.

W ramach niniejszej rozprawy doktorskiej przyjęto następującą tezę:

Dobór wartości współczynników $PICE/PPV+TW$ i $PBME/PPV+TW$ dla hybrydowej instalacji OZE składającej się z instalacji fotowoltaicznej, turbin wiatrowych, baterijnego magazynu energii oraz instalacji zgazowania odpadów komunalnych, pracującej według założeń cable pooling'u, jest zadaniem, które można rozwiązywać za pomocą wielokryterialnych metod podejmowania decyzji z uwzględnieniem różnych kryteriów z grupy technicznych, ekonomicznych oraz środowiskowych.

Sformułowano również cel badań:

jej celem pracy jest opracowanie modelu matematycznego pozwalającego na przeprowadzenie wielokryterialnej analizy porównawczej wariantów projektowych HIOZE i zbadanie wpływu wag zdefiniowanych kryteriów na aspekty techniczne, ekonomiczne oraz środowiskowe związane z jej eksploatacją.

Jako miarę efektów energetycznych, ekonomicznych i środowiskowych należy wskazać następujące wskaźniki:

Energetyczne:

- Czas wykorzystania mocy zainstalowanej,
- Wartość ograniczonej produkcji energii elektrycznej ze źródeł niesterowalnych,

Ekonomiczne:

- Łączne nakłady inwestycyjne na budowę instalacji hybrydowej,
- Różnicę między ceną sprzedaży, a kosztami wytwarzania energii elektrycznej,

Środowiskowe:

- Jednostkowy wskaźnik emisji CO₂,
- Różnicę między masą odpadów komunalnych dostępnych lokalnie, a ich zużyciem w instalacji hybrydowej.

Praca obejmuje swym zakresem analizę hybrydowych instalacji OZE składających się z instalacji fotowoltaicznej, turbin wiatrowych, bateryjnego magazynu energii oraz instalacji zgazowania odpadów komunalnych zintegrowanej z agregatem silnikowym. Praca podzielona jest na dwie części: teoretyczną oraz modelowo-symulacyjną.

Rozdział 2: Hybrydowe instalacje OZE, zawiera prezentację sektora wytwarzania energii elektrycznej w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem energetyki rozproszonej , omówiono hybrydowe systemy wytwarzania energii elektrycznej oraz tzw. cable pooling, Rozdział ten zawiera także segment poświęcony uwarunkowań prawnych funkcjonowania systemu elektroenergetycznego.

Rozdział 3. Zgazowanie paliwa z odpadów, przybliży zagadnienia związane z przemianami termicznymi odpadów , takie jak: frakcja energetyczna odpadów komunalnych w Polsce, technologię odzysku energii z frakcji energetycznej odpadów, proces

zgazowania, wykorzystanie syn gazu w silnikach tłokowych, oraz odpady komunalne w procesie zgazowania.

Rozdział 4: Metodologia analiz hybrydowych instalacji OZE, zawiera on przede wszystkim algorytm prowadzenia badań przy szeroko zakrojonych analizach. Przedstawiono także strukturę analizowanych hybrydowych instalacji OZE

Rozdział 5: Wyniki analiz HIOZE A, zawiera on zestawienie efektów obszernych analiz przeprowadzonych w poprzednim rozdziale, zawierają one matryce wariantów oraz wyniki analiz energetycznych, ekonomicznych i środowiskowych, podano także rozwiązania z najkorzystniejszymi wartościami poszczególnych wyjściowych parametrów, przedstawiono je w formie tabelarycznej oraz wykresów radarowych.

Rozdział 6: Wyniki analiz HIOZE B, ma identyczną kompozycję jak rozdział 5 dla drugiej koncepcji hybrydowych instalacji OZE.

Rozdział 7: Dyskusja wyników, zawiera pisownia nie analizowanych koncepcji hybrydowych instalacji OZE, starając się wyjaśnić, skąd i dlaczego mamy do czynienia ze znacznymi różnicami w funkcjonowaniu proponowanych rozwiązań, zestawiono je w formie tabelarycznej.

Rozdział 8: Wnioski, zawiera on stwierdzenie, że teza postawiona na wstępie dysertacji została udowodniona, w związku z tym przedstawiono 9 zasadniczych stwierdzeń odnośnie przeprowadzonych badań, stanowią one jednocześnie rekomendację dla inwestorów chcących wykonać podobne instalacje.

2. Charakterystyka tematu oraz celu rozprawy

Tematyka rozprawy doktorskiej pt. „Układy zgazowania odpadów komunalnych w hybrydowych instalacjach odnawialnych źródeł energii” jest istotna zarówno z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia. Dotyczy ona bowiem rozwoju społeczno-gospodarczego, do którego należą także wszystkim wszelkie działania w sektorze elektroenergetycznym. Wszystkie rozważania i badania zmierzające do podnoszenia efektywności w tym zakresie należy odnotować jako szczególnie wartościowe i przydatne w praktyce. Badania Autora mieszczą się w obszarze zagadnień technologiczno - ekonomicznych oraz zarządczych, a problem naukowy rozważany w pracy jest bardzo aktualny i ważny szczególnie w tym

okresie, kiedy nasz kraj aspiruje do grona krajów wysoko rozwiniętych, gdzie zasady optymalnego rozwoju, także w obszarze użytkowania energii elektrycznej powinny być szczególnie wykorzystywane. Badania nad problematyką rozważaną w rozprawie zarówno w kraju jak i zagranicą są już prowadzone od pewnego czasu, niemniej jednak praca ta stanowi zauważalny wkład w nowe spojrzenie nad skutecznym wdrażaniem analitycznych rozwiązań, przy uwzględnieniu wszystkich uwarunkowań, zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych obejmujących kreowanie strategii rozwojowych w organizacjach gospodarczych. Pozytywnie oceniam więc fakt, że Doktorant podjął się rozwiązać tak złożony i bardzo aktualny problem, który został przedstawiony w rozprawie w sposób kompletny – uwzględniający zarówno podstawy teoretyczne, metody statystyczno-ekonometryczne pozwalające na określenie stanu faktycznego – wyjściowego jak też przede wszystkim stanów prognozowanych.

Biorąc pod uwagę powyższe aspekty, należy stwierdzić, że praca doktorska mgr inż. Jacka Romana jest wyjątkowo aktualna i dotyczy ważnych problemów sektorze elektroenergetycznym, obejmujących praktycznie wszystkie obszary funkcjonowania infrastruktury przesyłowo-dystrybucyjnej oraz odbiorców energii elektrycznej, ze szczególnym uwzględnieniem produkcji energii elektrycznej przez zintegrowane systemy hybrydowe.

Doktorant podjął się trudnego zadania, polegającego na udowodnieniu, że możliwe jest zintensyfikowanie działań w zakresie podnoszenia efektywności w zakresie przesyłu, rozdziału a przede wszystkim użytkowania energii elektrycznej. Postawione przez Doktoranta cele pracy są oryginalne. Przedstawiony problem naukowy jest aktualny i ważny, szczególnie w obecnym okresie. Zagadnienia naukowe przedstawione w pracy są w ogólności sprecyzowane w sposób wystarczająco jasny i jednoznaczny.

3. Rozwiązanie postawionego problemu naukowego

Problem naukowy przedstawiony przez Autora rozwiązyany został w rozdziałach trzecim, czwartym, piątym i szóstym, gdzie kolejno sprecyzowano główne założenia metodyczne i twórczo rozwinięto metodykę analityczną, pozwalającą na wielowarstwowe spojrzenie

badawcze, umożliwiające przeprowadzenie syntetycznego wnioskowania. Podejście takie uważam za właściwe przy tego typu badaniach.

Katalog innowacyjnych prac wykonanych przez Doktoranta w rozprawie jest na imponującym poziomie, a za najbardziej oryginalne osiągnięcia Autora pracy uznałbym następujące elementy:

- zestawienie najbardziej aktualnych i kompletnych materiałów źródłowych dotyczących tematyki systemu elektroenergetycznego oraz HIOZE,
- opracowanie autorskiego rozwiązania dwóch modeli HIOZE
- wykorzystanie metod jakościowych i ilościowych (narzędzia w środowisku T)PSIS)) do analiz weryfikujących postawione hipotezy,
- opracowanie autorskiego algorytmu prowadzenia badań
- opracowanie katalogu wytycznych, rekomendacji wraz z uzasadnieniami, poszerzających zakres funkcjonowania HIOZE dla wszystkich interesariuszy systemu elektroenergetycznego,

Należy także dodać, że dysertacja tematycznie wchodzi w skład krajowych inteligentnych specjalizacji – tworzeniu innowacyjnych rozwiązań społeczno-gospodarczych, zwiększenia wartości dodanej gospodarki i podniesienia jej konkurencyjności na arenie międzynarodowej, a mianowicie: Dział Zrównoważona Energetyka, KIS 4- Wysokosprawne niskoemisyjne i zintegrowane układy wytwarzania, magazynowania, przesyłu i dystrybucji energii, KIS 5 – Inteligentne i energooszczędne budownictwo

4. Uwagi i kwestie dyskusyjne

Jako recenzent rozprawy zgłaszam następujące uwagi i kwestie dyskusyjne:

A. Uwagi ogólne:

1. Praca przedstawia relacje pomiędzy HIOZE a systemem elektroenergetycznym , podaje wynikające z tego wnioski, rekomenduje działania skierowane do różnych grup interesariuszy, który z elementów tego systemu ma rolę wiodącą ?
2. Jakie będą korekty wyników analiz przy zastąpieniu zgazowania odpadów biogazownią ?

3. Są już produkowane stacje zasilające sieci niskiego napięcia wyposażone w magazyn energii (sieci hybrydowe) , czy widzi doktorant współpracę tuch rozwiązań z HIOZE.?
4. Syntetyczny miernik oceny umożliwia ostateczne porównanie wariantów, czy zatem można dla określonego punktu sieci określić parametr T , który będzie miarodajny dla inwestora chcącego przystąpić do realizacji HIOZE?

B . Uwagi szczegółowe

1. Praca nie zawiera propozycji dalszych badań, być może zadane pytania powyżej nakreślą jej kierunek.

Uwaga generalna do uwag szczegółowych : praca napisana w sposób przemyślany, , szata graficzna bardzo staranna, praca napisana przejrzystie i zrozumiale, pod względem edytorskim praca na dobrym poziomie, ale recenzent zaleca większą staranność przy opracowywaniu kolejnych prac naukowych.

5. Ocena pracy jako rozprawy doktorskiej

Biorąc pod uwagę zawartość pracy stwierdzam, że: Doktorant w sposób wystarczająco jednoznaczny sformułował problem naukowy , który następnie rozwiązał właściwie, przy użyciu metod naukowych. Zakres i stopień wiedzy Doktoranta w zakresie dyscypliny naukowej, której dotyczy praca, jest wystarczający zarówno w zakresie teoretycznym jak również aplikacyjnym. Na szczególną uwagę zasługuje duża wiedza i znajomość zagadnień zebrana na podstawie licznych pozycji literaturowych, w przeważającym stopniu anglojęzycznych, związanych z systemami technologiczno-zarządczymi sektora elektroenergetycznego. Doktorant posiada również dobre opanowanie techniki pisania prac naukowych oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Recenzent jest przekonany, że praca ta będzie podstawą do dalszych badań, także tych sugerowanych w niniejszej recenzji.

6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Jacka Romana „Układy zgazowania odpadów komunalnych w hybrydowych instalacjach odnawialnych źródeł energii” **spełnia**

ustawowe wymagania dotyczące rozpraw doktorskich zawarte w art. 13 Ustawy O stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z 14.03.2003 r.(Dz.U.nr 65,poz.595) w zgodzie z Ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym z 27.07.2005r.(Dz. U. nr 164, poz.1365 z późniejszymi zmianami), oraz zgodnie z § 6 ust.3 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19.stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. z dnia 30 stycznia 2018 r poz.261). Jest ona oryginalnym rozwiązaniem postawionego przez Autora zagadnienia naukowego. Potwierdza opanowanie przez Niego wiedzy w dyscyplinie naukowej: energetyka - aktualnie **inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka**). Potwierdza również umiejętność rozwiązywania problemów naukowych , w związku z powyższym wnioskuję o **dopuszczenie mgra inż. Jacka Romana do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**

