

dr hab. Piotr Gołasa, prof. SGGW

Instytut Ekonomii i Finansów

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Recenzja pracy doktorskiej mgr Anny Trocewicz

pt. Ekonomiczna efektywność inwestycji w produkcję energii ze źródeł odnawialnych na przykładzie instalacji fotowoltaicznych

1. Podstawa recenzji

Podstawę recenzji stanowi pismo dr. hab. Adama Czarneckiego, prof. IRWiR PAN, Zastępcy Dyrektora ds. naukowych w Instytucie Rozwoju Wsi i Rolnictwa PAN, powiadamiające o powołaniu mnie przez Radę Naukową IRWiR PAN na posiedzeniu w dniu 18 września 2024 r. na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr Anny Trocewicz pt. Ekonomiczna efektywność inwestycji w produkcję energii ze źródeł odnawialnych na przykładzie instalacji fotowoltaicznych, napisanej pod kierunkiem naukowym promotora dr hab. Piotra Gradziuka, prof. IRWiR PAN.

Podstawą prawną recenzji jest Ustawa Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz.U. z 2022 r., poz. 574 z późn. zm.).

2. Podstawowe informacje o rozprawie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy 229 stron. Podzielona została na wstęp, 6 rozdziałów merytorycznych, podsumowanie i wnioski, bibliografię, spis tabel, spis rysunków.

3. Ocena wyboru tematyki

We wstępie Autorka wskazała istotną lukę badawczą „związaną z analizą efektywności ekonomicznej wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych, ze szczególnym uwzględnieniem wielkoskalowych instalacji fotowoltaicznych”, którą postanowiła uzupełnić. Zagadnienie to jest niezwykle ważne zarówno z naukowego jak i aplikacyjnego punktu widzenia. Fotowoltaika jest kluczowym elementem tworzonego mixu energetycznego w Polsce. Zasady jej funkcjonowania, wyniki ekonomiczne, formy wsparcia inwestycji, rozliczeń są istotne zarówno dla władz krajowych, samorządowych, dużych inwestorów jak i prosumentów. Biorąc to pod uwagę oraz

 1

niewielką liczbę całościowych opracowań dotyczących dużych instalacji, uważam wybór tej tematyki za trafny.

4. Cele, hipotezy badawcze, metodyka badań

Celem głównym pracy było rozpoznanie stanu, możliwości rozwoju oraz ocena ekonomicznej efektywności inwestycji w wielkoskalowe instalacje fotowoltaiczne zlokalizowane w woj. lubelskim.

W ramach celu głównego wyznaczono następujące cele szczegółowe:

- 1) Rozpoznanie potencjału promieniowania słonecznego i możliwości jego wykorzystania do produkcji energii elektrycznej w warunkach klimatycznych oraz przyrodniczych Południowo-Wschodniej Polski.
- 2) Identyfikacja otoczenia prawnego oraz form, skali i znaczenia mechanizmów wsparcia sektora OZE, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu na kształtowanie ekonomicznej efektywności produkcji energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych.
- 3) Ustalenie stanu, dynamiki oraz potencjału Polski w zakresie wytwarzania energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznych.
- 4) Ocena nakładów inwestycyjnych oraz efektów produkcyjno-ekonomicznych wytwarzania energii elektrycznej w wielkoskalowych instalacjach fotowoltaicznych.
- 5) Symulacja efektywności ekonomicznej wytwarzania energii elektrycznej w wielkoskalowych instalacjach fotowoltaicznych we współpracy z turbinami wiatrowymi i magazynami energii.

Do weryfikacji przyjęto cztery hipotezy badawcze

- 1) Zachodzące zmiany klimatyczne przyczyniają się do wzrostu potencjału promieniowania słonecznego w Południowo-Wschodniej Polsce.
- 2) Produkcja energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych pod względem ekonomicznym stanowi alternatywę dla jej wytwarzania z zastosowaniem źródeł konwencjonalnych.
- 3) W kompleksowym rachunku uwzględniającym aspekty ekonomiczne i środowiskowe publiczne wsparcie rozwoju wielkoskalowej elektroenergetyki słonecznej znajduje uzasadnienie.
- 4) Rozbudowa wielkoskalowej instalacji fotowoltaicznej o elektrownie wiatrowe i magazyny energii jest uzasadniona ekonomicznie.

Powiązanie poszczególnych celów szczegółowych, oraz hipotez zostało zaprezentowane na rysunku 1. Uważam, że takie przedstawienie zamiarów badawczych jest właściwe i ułatwia zrozumienie zamysłów Autorki. Sformułowanie celów badawczych nie budzi większych wątpliwości i zostało przeprowadzone właściwie. Natomiast w treści celu głównego, po raz pierwszy w pracy pojawia się województwo lubelskie. Nie wyjaśniono ani we wstępie ani w rozdziale metodycznym skąd taki wybór.

Jeżeli chodzi o hipotezy, skonstruowane zostały we właściwy, jednoznaczny sposób. Jedynie dyskusyjne w pracy w dyscyplinie ekonomii i finansów jest umieszczenie na



pierwszym miejscu hipotezy odnoszącej się do kwestii klimatycznych i technicznych. Z drugiej strony można uznać, że jest to uzasadnione logiką i budową pracy.

Przyjęte metody obliczania efektywności ekonomicznej należą do metod standardowych i uznanych: NPV, IRR, DPBT, LCOE. Zostały właściwie zaprezentowane i uzasadnione. Podano również zasady tworzenia modeli tendencji rozwojowych i prognoz. Te wszystkie informacje znalazły się w rozdziale „Cel i metoda badań”. Natomiast na s. 101 ponownie przedstawiono metodykę tworzenia modelu, co w mojej opinii powinno się znaleźć w rozdziale 1. Nie zdefiniowano również zakresu czasowego. Ta informacja pojawia się dopiero w rozdziale 6.

5. Ocena struktury dysertacji oraz jej zawartości merytorycznej

Ogólna struktura pracy, kolejność i zawartość rozdziałów mimo pewnych uwag, oceniam pozytywnie. Chciałbym tutaj również zwrócić uwagę, na interdyscyplinarny charakter pracy. Zawiera ona elementy związane z aspektami prawnymi, technicznymi, klimatycznymi i oczywiście ekonomicznymi. Sprawia to, że stopień złożoności zagadnienia oraz wiedzy niezbędnej do podjęcia tego tematu jest niezwykle wysoki. Z jednej strony utrudnia to pracę nad dysertacją lecz z drugiej podnosi znacznie jej wartość.

We wstępie pojawia się dyskusyjny zapis: „Niezależnie od wątpliwości wyrażanych przez część środowiska naukowego, co do stopnia w jakim zmiany klimatu powodowane są emisjami pochodzenia antropogenicznego (Zimniewicz, 2011)...” Tu chciałbym zadać pytanie o opinie Autorki na temat tego sformułowania: kto i w jaki sposób odpowiada za zmiany klimatyczne?

Rozdział 2 Autorka rozpoczyna od przedstawienia fizycznych podstaw zmian klimatycznych oraz historii ogólnoświatowych działań na rzecz stabilności klimatu. Opisuje Politykę klimatyczno-energetyczną Unii Europejskiej a następnie płynnie przechodzi do krajowych uwarunkowań rozwoju OZE w Polsce. Przedstawiono najważniejsze akty prawne i dokumenty szczebla krajowego odnoszące się do OZE. Pojawia się tutaj pewna wątpliwość. Dokładnie omówiono zmiany w ustawie Prawo energetyczne w latach 1997-2007 a później dokonano nagłego przeskoku do 2023 roku, jakby w okresie 2008-2022 nic się działo. Podobnie niezwykle skrótowo scharakteryzowano, istotną z punktu widzenia tematu Ustawę o odnawialnych źródłach energii.

Rozdziały 2.4 i 2.5 nie są najlepszą częścią pracy. W mojej opinii powinny mieć zupełnie inną, bardziej uporządkowaną strukturę. Przykładowo „zielone certyfikaty” są opisywane na str. 52 str. 66, a jeszcze później w części badawczej str. 173. Szczególnie chaotycznie wygląda podrozdział 2.4. Na kilku stronach, bez żadnych śródtytułów, zawarto informacje o NFOŚiGW, FAPA, funduszach UE, RPO, PROW, programie „Mój prąd”, „Agroenergia”, „Moje ciepło”, definicje prosumenta, zasady rozliczania prosumentów, taryfy gwarantowane, zielone certyfikaty, problemy odmów zawarcia umów o przyłączenia OZE. Powstaje tutaj pytanie, które z tych informacji są ważne z punktu widzenia realizacji celów badawczych i czy pewne elementy nie powinny znaleźć się w innych częściach pracy.

Rozdział 3 to rozbudowana część odnosząca się do teorii. Rozpoczyna się omówieniem ogólnego zagadnienia czym jest energia i jej znaczenia dla cywilizacji ludzkiej. W podrozdziale 3.2 zaprezentowano energię jako zagadnienie ekonomiczne, poczynawszy od szkoły klasycznej a



skończywszy na współczesnych nurtach naukowych. Autorka dowiodła tutaj swojej znajomości teorii ekonomii, przedstawiając myśli licznych jej przedstawicieli, czasami niezbyt znanych. Powstaje jednak pytanie czy nie lepiej byłoby skupić się na kilku nurtach najistotniejszych dla pracy? Jednak szanuje taki wybór Autorki. Temat pracy zawiera dwa główne elementy: OZE i efektywność ekonomiczna. O ile kwestie energii zostały dobrze omówione, to zabrakło szerszego, teoretycznego przedstawienia zagadnienia „efektywności ekonomicznej”. Pojawia się ono jedynie w rozdziale metodycznym i to wąskim zakresie. Podrozdział 3.4 zaczyna się małym błędem: „Wdrożenie tego planu wiązałoby się z niemal całkowitą eliminacją emisji w sektorze...”, nie wiadomo jakiego planu. Dyskusyjne jest użycie prostych metod (trend liniowy, funkcja kwadratowa) do prognozowania produkcji OZE do 2030 roku. Owszem, uzyskano tutaj wysokie dopasowanie modeli ale sama Autorka w późniejszej części pracy zauważa, że tak naprawdę kluczowa jest polityka państwa w zakresie wsparcia OZE, której nie da się w ten sposób prognozować.

W rozdziale 4 przedstawiono techniczne aspekty możliwości wykorzystania energii słonecznej. Zaprezentowano różne metody pozyskiwania energii, począwszy od prostych kolektorów słonecznych a skończywszy na nowoczesnych ogniowych perowskitowych i mikro panelach. Pewną wątpliwość budzą dane dotyczące wydajności zamieszczone na str. 123 i 115. Podane tam wartości mocno różnią się od siebie. Z punktu widzenia ekonomii i finansów kluczowe są informacje dotyczące spadku cen ogniw oraz problemów systemem zagospodarowania odpadów fotowoltaicznych. Wadą tej części pracy jest pobieżne potraktowanie niezwykle istotnego zagadnienia magazynów energii. Wartość poznawczą i naukową rozdziału podnoszą liczne zdjęcia i schematy techniczne.

Rozdział 5 to rozbudowana charakterystyka województwa lubelskiego. W mojej opinii rozdział jest ten zbyt obszerny. Przedstawiono położenie, uwarunkowania środowiskowe, społeczne, gospodarcze, potencjał geotermalny, wietrzny, wskaźnik rolniczej waloryzacji przestrzeni produkcyjnej. Mapy przedstawiające rozkład temperatur wód termalnych w województwie na głębokości 4000m i 5000m są ciekawe, ale w żaden sposób nie służą to realizacji celów badawczych. Najistotniejszy jest tutaj podrozdział 5.5 związany bezpośrednio z pierwszą hipotezą. Na podstawie danych z dwóch stacji pogodowych (Terespol, Włodawa) z województwa lubelskiego wyliczono linie trendu dla temperatury oraz nasłonecznienia. Odnotowano w okresie 1982-2022 wzrost tych wartości, co pozwoliło pozytywnie zweryfikować pierwszą hipotezę. Zabrakło tu jednak szerszego opisu i interpretacji uzyskanych wyników.

Rozdział 6 to najważniejsza i główna część pracy, którą oceniam wysoko. Na podstawie danych pozyskanych z różnych źródeł obliczono, ekonomiczną efektywność badanych 31 instalacji fotowoltaicznych. Zebrano dla wszystkich projektów dane dotyczące: nakładów inwestycyjnych, wielkość produkcji energii i przychodów, kosztów eksploatacyjnych, przeprowadzono badanie opłacalności projektów. Uważam, że są to kluczowe wyniki, które mają znaczenie dla szerokiego grona odbiorców, począwszy od władz państwa a na inwestorach skończywszy. Pojawiają się jednak pewne kwestie wymagające uściślenia:

— str. 166 – „Średni poziom nakładów na jednostkę zainstalowanej mocy wyniósł 6088 zł/kW, ale był znacząco zróżnicowany, od 4919 do 7285 zł/kW i nie

wynikał z efektu skali. Analizy IEO potwierdzają działanie tzw. kosztowego efektu skali, ponieważ z danych wynika, że jednostkowa cena instalacji spada wraz ze wzrostem mocy znamionowej instalacji”. Nie do końca rozumiem, co Autorka miała na myśli, jak wyniki IEO mają się do jej wyliczeń.

- str. 175 – jaką stopę amortyzacji użyto i dlaczego taką? W kolejnym podrozdziale stwierdzono, że „okres eksploatacji badanych inwestycji będzie wynosił 25 lat” ale czy to dotyczy się też amortyzacji?
- str. 191 – „Roczne koszty eksploatacji elektrowni wiatrowej przyjęto na poziomie 195 tys. zł/MW, natomiast elektrowni fotowoltaicznej na poziomie 65 tys. zł/MW”. Na jakiej podstawie oszacowano koszty eksploatacji i serwisu elektrowni?

Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły zweryfikować hipotezę 2: „Produkcja energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych pod względem ekonomicznym stanowi alternatywę dla jej wytwarzania z zastosowaniem źródeł konwencjonalnych”. O ile wyliczenia są prawidłowe to interpretacja a właściwie opis wyników pozostawia dużo do życzenia. Chodzi tu o niezwykle skrótowe podejście. Podsumowanie kluczowych badań zawarto w 10 wierszach tekstu.

Wartość pracy podnosi fakt, że Autorka wyniki swoich badań konfrontuje z wynikami innych naukowców i prowadzi z nimi dyskusję. Zabrakło natomiast odniesienia się do niektórych kluczowych obliczeń. Stwierdzono iż, „W przypadku praw majątkowych do świadectw pochodzenia te wzrosty (ceny) były bez mała sześciokrotne”. Powstaje istotne pytanie: skąd taki duży wzrost cen świadectw. Doktorantka nie zagłębiła się w to zagadnienie a przychody z tego tytułu stanowiły ponad 30% całości przychodów instalacji.

W kolejnej części rozdziału przeprowadzono analizę force-field wskazującą, że kluczowymi czynnikami rozwoju inwestycji w sektorze fotowoltaicznym są: możliwość uzyskania dofinansowania, koszt inwestycji oraz kształt polityki energetycznej. Rozdział kończy się symulacją systemu hybrydowego będącego połączeniem instalacji fotowoltaicznej, elektrowni wiatrowej, magazynu energii. Stwierdzono, brak opłacalności tego typu inwestycji w obecnych uwarunkowaniach. Pewne wątpliwości budzą przyjęte założenia (str. 191):

- „Roczne koszty eksploatacji elektrowni wiatrowej przyjęto na poziomie 195 tys. zł/MW, natomiast elektrowni fotowoltaicznej na poziomie 65 tys. zł/MW”. Na jakiej podstawie oszacowano koszty eksploatacji i serwisu elektrowni?
- Straty generacji energii elektrycznej z elektrowni fotowoltaicznej pracującej w ko-generacji z elektrownią wiatrową oszacowano na 10% (dane opracowania Akademii Bialskiej im. Jana Pawła II w Białej Podlaskiej) – co to za opracowanie?

Całość rozważań zawartych w dysertacji zamyka blisko 6 stronicowe „Podsumowanie i wnioski”. Zawarte są w nim odwołania do celów i hipotez. Cześć ta jest uporządkowana, ma jasną, logiczną strukturę i zawiera w zdecydowanej większości prawidłowo skonstruowane wnioski, znajdujące oparcie w części empirycznej.

Pracę kończy niezwykle bogata bibliografia, łącznie 485 pozycji, z licznymi publikacjami angielskojęzycznymi.

6. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Pomimo ogólnie pozytywnej oceny przedstawionej pracy znajdują się w niej elementy mające charakter co najmniej dyskusyjny.

- 1) Hipoteza „zachodzące zmiany klimatyczne przyczyniają się do wzrostu potencjału promieniowania słonecznego w Południowo-Wschodniej Polsce”. Stwierdzono w pracy, wzrost nasłonecznienia i średnich temperatur. O ile wzrost nasłonecznienia pozytywnie wpływa na potencjał produkcji fotowoltaicznej, to już wzrost temperatury niekoniecznie. W literaturze przyjmuje się, że dla niektórych typów ogniw, spadek efektywności może wynosić nawet 15% dla temperatury powietrza 40 stopni C. Zdaję sobie sprawę, że Autorka w hipotezie odnosi się jedynie do nasłonecznienia. Jednakże tak sformułowana hipoteza oraz wyniki badań dotyczące temperatury mogą sugerować jednoznaczny wzrost potencjału fotowoltaicznego, co nie do końca jest prawdą.
- 2) Najpoważniejsza uwaga co do rozprawy, związana jest z hipoteza 3: „W kompleksowym rachunku uwzględniającym aspekty ekonomiczne i środowiskowe publiczne wsparcie rozwoju wielkoskalowej elektroenergetyki słonecznej znajduje uzasadnienie”. W jaki sposób uwzględniono aspekty środowiskowe w badaniach? Wykorzystane metody ROI, SPP, NPV, IRR, DPFBT, LCOE nie zawierają elementów pozwalających na ocenę elementów środowiskowych a jedynie finansowe.
- 3) We wnioskach Autorka stwierdza: „Przeprowadzone badania pozwoliły sformułować również następujące wnioski: Konsekwencją wzrostu gospodarczego przejawiającego się najczęściej wzrostem wartości PKB per capita jest degradacja środowiska naturalnego. W dysertacji przedstawiono trendy zużycia energii ze źródeł konwencjonalnych oraz emisji GHG w wybranych regionach i państwach, zauważono istotną zależność pomiędzy tymi dwoma parametrami” Zgadzam się ze zdaniem drugim, natomiast żadne badania przeprowadzone w pracy nie dowodzą, że „Konsekwencją wzrostu gospodarczego przejawiającego się najczęściej wzrostem wartości PKB per capita jest degradacja środowiska naturalnego”. Sama Autorka pisała na str. 31 o koncepcji środowiskowej krzywej Kuznetsa.

7. Uwagi techniczne

Praca co do zasady napisana jest językiem zrozumiałym, łatwym w odbiorze. Niestety występują błędy stylistyczne i techniczne. Niektóre z nich zostały przedstawione już wcześniej w recenzji. Pozostałe, najpoważniejsze uwagi:

- str. 40 – brak wyjaśnienia skrótu TPES;
- str. 44 – „Ale uwarunkowania polityczno-prawne dotyczące energetyki odnawialnej” – zdanie nie powiązane z poprzednimi;

- str. 87 – W podrozdziale Rozwój energetyki wykorzystującej źródła odnawialne i jej znaczenie w bilansie energetycznym Autorka pisze: „Obecnie można wyróżnić dwie teorie głównego nurtu, które wyjaśniają procesy wzrostu gospodarczego...” – zdecydowanie bardziej pasowałoby to do poprzedniego podrozdziału dotyczącego teorii ekonomii;
- str. 86 „Wzrost EROI poprzez przejście z biomasy i innych źródeł energii odnawialnej do paliw kopalnych (rys. 17)” – na wykresie nie ma wskaźnika EROI a struktura pozyskania energii pierwotnej;
- str. 162 – nieprawidłowe umieszczenie rys. 79. W akapicie poprzedzającym Autorka pisze o kotłach na biomasę a zaraz pod tym „Na rysunku 1 przedstawiono lokalizację badanych farm fotowoltaicznych”.

Konkluzja

Pomimo podniesionych niewielkich uwag krytycznych, jednoznacznie stwierdzam, że przedłożona praca doktorska Pani Anny Trocewicz jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego. Potwierdza ona ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie ekonomii i finansów oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W związku z powyższym, stwierdzam że rozprawa doktorska Pani Anny Trocewicz „Ekonomiczna efektywność inwestycji w produkcję energii ze źródeł odnawialnych na przykładzie instalacji fotowoltaicznych” **spełnia wymogi formalne określone** w Ustawie Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz.U. z 2022 r., poz. 574 z późn. zm.). **W związku z tym wnioskuję o przyjęcie recenzowanej rozprawy przez Radę Naukową IRWiR PAN oraz o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Piotr Świerca