

Dr hab. inż. Jacek Kamiński, prof. IGSMiE PAN
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
ul. Wybickiego 7
31-261 Kraków

Kraków, 27.07.2017

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra Grzegorza Wilińskiego pt.:

Efektywna dekarbonizacja zderegulowanego sektora elektroenergetycznego

napisanej pod kierunkiem naukowym
dra hab. Michała Ramszy, prof. SGH

I. Podstawa formalna recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Pani Dziekan Kolegium Analiz Ekonomicznych Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie dr hab. Joanny Plebaniak, prof. SGH, z dnia 8 czerwca 2017 roku, w sprawie powierzenia mi obowiązku recenzenta przedmiotowej dysertacji, zgodnie z uchwałą Rady Kolegium Analiz Ekonomicznych z dnia 30 maja 2017 roku.

II. Charakterystyka pracy oraz jej ocena jako rozprawy doktorskiej

1. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgra Grzegorza Wilińskiego dotyczy problematyki efektywnego ograniczenia redukcji emisji gazów cieplarnianych w sektorze elektroenergetycznym funkcjonującym w strukturze rynku zderegulowanego. Wybrany przez Doktoranta **problem badawczy** jest aktualny i ważny, ze względu na specyfikę krajowej struktury wytwarzania energii elektrycznej, bazującej na kopalnych nośnikach energii pierwotnej oraz systematycznie zmieniające się uwarunkowania regulacyjno-środowiskowe wynikające bezpośrednio z członkostwa Polski w Unii Europejskiej. Prace badawcze ukierunkowane na pogłębienie stanu wiedzy w zakresie wyboru najkorzystniejszych – biorąc pod uwagę określone kryteria – sposobów redukcji emisji CO₂ nabierają w tym kontekście szczególnego znaczenia. Problem rzetelnej oceny efektywności instrumentów polityki energetyczno-środowiskowej komplikuje się

bowiem w ostatnich dekadach w związku z wdrażaniem reform rynkowych w sektorze elektroenergetycznym (między innymi: zasada dostępu stron trzecich do sieci, zasada rozdziału działalności, konkurencja w obrocie hurtowym i detalicznym, deregulacja cen etc.). Skutkiem powyższego, dotychczas stosowane metody i budowane z ich wykorzystaniem narzędzia stają się nieadekwatne w procesie podejmowania decyzji dotyczących rynku energii funkcjonującego w strukturze rynku konkurencyjnego. W tym kontekście, w odniesieniu do zaproponowanej przez Doktoranta **metodyki badań** stwierdzić należy, że choć literatura przedmiotu dostarcza co najmniej kilka podejść do modelowania długoterminowego rozwoju systemów wytwarzania energii elektrycznej, które pomimo wykazanych braków wciąż są na świecie stosowane, a Doktorant mógłby je wykorzystać na potrzeby przedmiotowej dysertacji, to – w sposób świadczący o dojrzałości warsztatu naukowego – podejmuje się on jednak opracowania własnej, nowatorskiej metody, bazującej koncepcyjnie na:

- (i) stochastycznym dualnym programowaniu dynamicznym (SDDP) oraz
- (ii) dekompozycji Bendersa.

Doktorant w rzetelny sposób uzasadnił dlaczego podejścia dotychczas stosowane – opracowane dla monopolistycznych struktur rynkowych – nie powinny być bezkrytycznie wykorzystywane do badań prowadzonych dla zderegulowanych rynków energii. Opracowana przez Doktoranta koncepcja modelu matematycznego, która zaimplementowana została na platformie modelowania GAMS (*General Algebraic Modelling System*) jest unikatowa. Umożliwia ona bowiem przeprowadzenie symulacji funkcjonowania systemu wytwórczego w aktualnie istniejącej strukturze rynkowo-regulacyjnej, dzięki integracji: (i) krótkoterminowej (operacyjnej) specyfiki rynku energii elektrycznej oraz (ii) długoterminowego charakteru inwestycji w moce wytwórcze, o horyzoncie czasowym sięgającym kilkudziesięciu lat. Według wiedzy recenzenta tego rodzaju podejście nie było do tej pory stosowane w procesie podejmowania decyzji dotyczących długoterminowego rozwoju systemów wytwarzania energii elektrycznej, czy oceny efektywności instrumentów polityki środowiskowej. Zaproponowana metoda – jak wcześniej wspomniano – jest nowatorska i z pewnością znajdzie zastosowanie również w innych obszarach szeroko rozumianej ekonomiki sektora paliwowo-energetycznego, np. w obszarze pozyskania paliw pierwotnych (węgiel, ropy, gazu ziemnego) czy przesyłu energii elektrycznej. Rozprawa ma więc nie tylko charakter teoretyczny, ale również wysoce użyteczny.

2. Praca obejmuje 140 stron maszynopisu (łącznie z bibliografią), w tym 14 tablic oraz 20 rysunków. Układ rozprawy jest typowy dla tego rodzaju prac naukowych. Praca została podzielona na cztery rozdziały zasadnicze, opatrzone wstępem i wnioskami końcowymi, w ramach których Doktorant zidentyfikował i sformalizował plan dalszych poszukiwań badawczych. W pracy zamieszczono również spis treści, zestawienie tabel i rysunków oraz spis źródeł literaturowych liczący 160 pozycji. Wybór literatury – w większości obcojęzycznej – jest odpowiedni i w pełni uzasadniony. Świadczy on o bardzo dobrym rozeznaniu Doktoranta w aktualnym stanie wiedzy w przedmiotowej dziedzinie na poziomie światowym.
3. Praca posiada adekwatną dla rozprawy doktorskiej szatę graficzną. Rysunki i tabele zostały opatrzone odpowiednimi podpisami, które nie powodują problemów interpretacyjnych.
4. Praca jest napisana odpowiednim, zarówno pod względem ekonomicznym, jak i inżynierskim językiem naukowym. Jednocześnie, pomimo drobnych potknięć edycyjnych – których wyeliminowanie sugeruję w procesie ewentualnego przygotowania rozprawy do publikacji w postaci monografii – praca została napisana językiem przystępnym.
5. Przyjęty **tytuł rozprawy** został sformułowany poprawnie i precyzyjnie. Odzwierciedla on wagę i aktualność problemu. Zauważalny jest bezpośredni związek pomiędzy tytułem pracy oraz hipotezami badawczymi.
6. Doktorant jako główny **przedmiot badań** wskazał weryfikację **hipotezy badawczej** o: „braku efektywności mechanizmu internalizującego koszty zewnętrzne emisji dwutlenku węgla w redukcji emisji istniejących instalacji elektrycznych oraz stymulowaniu ich wymiany na inne niskoemisyjne konwencjonalne źródła wytwórcze energii elektrycznej”. Następnie Doktorant formułuje trzy hipotezy pomocnicze.

Szczególnie interesująca jest hipoteza pomocnicza nr 3, w której Doktorant – słusznie – podważa sens niezależnego wdrażania dwóch instrumentów polityki klimatyczno-środowiskowej, które prowadzić mają do osiągnięcia tego samego celu, a mianowicie dekarbonizacji sektora elektroenergetycznego. O ile logiczne i oczywiste – na gruncie dotychczasowych osiągnięć ekonomii ochrony środowiska – wydaje się samo wykazanie substytucyjności przedmiotowych instrumentów, to warte szczególnego podkreślenia jest ilościowe zweryfikowanie przedmiotowej hipotezy w odniesieniu do

polskiego sektora wytwarzania energii elektrycznej. Tego rodzaju analizy wykonywane są najczęściej przez wieloosobowe, interdyscyplinarne zespoły badawcze, a w przedmiotowej dysertacji Doktorant zrealizował wszystkie niezbędne zadania indywidualnie, co potwierdza bardzo duży wkład włożony w opracowanie pracy.

W przypadku hipotezy nr 2 mówiącej o „braku możliwości funkcjonowania sektora elektroenergetycznego z bardzo wysokim udziałem odnawialnych źródeł produkcji energii (...)”, znacznie lepszym rozwiązaniem byłoby usunięcie słowa „braku”, ponieważ cały dalszy wywód został poprowadzony w sposób potwierdzający wykonalność takiego scenariusza.

Podsumowując, zarówno główna, jak i **pomocnicze hipotezy badawcze** zostały generalnie właściwie sformułowane, a opracowany przez Doktoranta aparat badawczy – poparty wywodem naukowym – umożliwia zweryfikowanie przedmiotowych hipotez.

7. **Cele badawcze pracy** nie zostały co prawda wyartykułowane *explicite*, jednak można je łatwo zidentyfikować na podstawie analizy **kontrybucji pracy** do aktualnego stanu wiedzy (str. viii – ix), które zgrupować można w dwóch nurtach badawczych:

- a. oceny efektywności i substytucyjności instrumentów polityki klimatyczno-energetycznej, w szczególności: (i) systemu handlu uprawnieniami do emisji CO₂ oraz (ii) subsydiowania rozwoju odnawialnych źródeł energii wraz z oceną skutków ekonomicznych wdrożenia określonych scenariuszy dekarbonizacyjnych, oraz
- b. rozwoju zaawansowanych narzędzi (modeli matematycznych) umożliwiających realizację długoterminowych, wielowariantowych analiz z zakresu planowania rozwoju systemów wytwarzania energii elektrycznej funkcjonujących w strukturze rynku zderegulowanego.

8. **Treść rozprawy**

Praca rozpoczyna się częścią wstępną obejmującą wprowadzenie, uzasadnienie wyboru tematu, sformułowanie przedmiotu badań, hipotez badawczych oraz wkładu pracy do stanu badań w zakresie oceny efektywności instrumentów polityki energetyczno-klimatycznej oraz rozwoju modeli matematycznych wykorzystywanych w procesie decyzyjnym.

Pozytywnie należy ocenić fakt, że każdy rozdział pracy opatrzony jest streszczeniem, w którym Doktorant wprowadza czytającego w jego treść. Synteza informacji systematyzuje wywód prowadzony w poszczególnych rozdziałach.

W rozdziale pierwszym Doktorant dokonuje wprowadzenia do zagadnienia rynku energii elektrycznej podkreślając specyficzne cechy, które odróżniają go od rynków innych dóbr. Szczegółowo analizuje możliwe przepływy energii wynikające z przyjętej segmentacji rynku, której podstawą jest integracja technicznego charakteru generacji, przesyłu, dystrybucji i zużycia energii oraz ekonomiki jej produkcji, sprzedaży i konsumpcji. Następnie – słusznie – uzasadnia przyjęcie podejścia Bertranda oraz poddaje dyskusji zagadnienia z zakresu internalizacji kosztów zewnętrznych oraz mechanizmów transferu użyteczności w odniesieniu do specyfiki sektora elektroenergetycznego.

W rozdziale drugim Doktorant przedstawia przegląd metod optymalizacji wykorzystywanych w krótko- i długoterminowym modelowaniu systemów elektroenergetycznych, ze szczególnym uwzględnieniem podsystemu wytwarzania. Punktem wyjścia do dalszych rozważań jest deterministyczny fundamentalny model ekonomicznego rozdziału obciążeń wykorzystywany do planowania krótkoterminowego. Następnie dyskutowany jest długoterminowy model prognozowania rozwoju systemu wytwórczego w wersji deterministycznej, który jest rozbudowywany do postaci stochastycznej. Doktorant w wiarygodny sposób uzasadnia powód przyjęcia podejścia *tu-i-teraz* do budowy modelu matematycznego wykorzystywanego do weryfikacji hipotez badawczych. Następnie Doktorant przedstawia podejście programowania dynamicznego oraz metodę dekompozycji Bendersa jednoznacznie wykazując ich zalety w odniesieniu do planowanego zastosowania do rozwiązania problemu badawczego. Co warto podkreślić, rozdział ten ma również charakter dydaktyczny, ponieważ Doktorant w sposób jasny i przejrzysty przedstawia metody budowy modeli matematycznych z wykorzystaniem wybranych podejść, popierając każdy etap odpowiednimi przykładami i wskazówkami dotyczącymi możliwości dalszej rozbudowy.

W rozdziale trzecim Doktorant szczegółowo opisuje autorskie narzędzie (model matematyczny) wykorzystywane w dalszej części pracy do weryfikacji postawionych hipotez badawczych. Rozdział ten został napisany zgodnie ze sztuką modelowania systemów energetycznych. Doktorant przedstawia szczegółowe formuły matematyczne

modelu, z odpowiednim uzasadnieniem zaimplementowanych ograniczeń, a następnie opisuje opracowany algorytm optymalizacyjny. Bardzo interesująca z punktu widzenia praktycznego wymiaru pracy jest również dyskusja efektywności obliczeniowej opracowanego algorytmu.

Rozdział czwarty poświęcony jest empirycznej weryfikacji hipotez badawczych. Doktorant formułuje trzy warianty (scenariusze) rozwoju krajowego systemu wytwarzania energii elektrycznej do 2030 roku. Następnie przyjmuje odpowiednie założenia względem danych wejściowych, które bazują na ogólnodostępnych źródłach informacji. Walidacja modelu przeprowadzona została względem danych historycznych za 2015 rok. Na podstawie wykonanych obliczeń modelowych Doktorant zweryfikował sformułowane hipotezy badawcze, potwierdzając równocześnie duży potencjał praktycznego wykorzystania opracowanej metody.

W podsumowaniu zawarto kluczowe wnioski z przeprowadzonych badań, zarówno o charakterze teoretycznym, jak i empirycznym, oraz – co istotne – plan dalszych badań nad rozwojem opracowanego modelu.

9. **Ogólna ocena pracy jako rozprawy doktorskiej jest bardzo wysoka.** Zarówno zakres pracy, jak również opracowana metoda rozwiązania problemu badawczego, świadczą o bardzo dobrym warsztacie naukowym Doktoranta. Przedstawienie w pracy tak szerokiego materiału wymagało od Doktoranta interdyscyplinarnej wiedzy, nie tylko z dziedziny nauk ekonomicznych, lecz również technicznych. Opracowana metoda oraz wyniki pracy są nowatorskie i stanowią oryginalny dorobek naukowy, potwierdzający umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

III. Uwagi polemiczne oraz kwestie dyskusyjne

1. Merytoryczne uwagi polemiczne oraz kwestie wymagające wyjaśnienia przez Doktoranta:
 - 1.1. Doktorant nie definiuje pojęcia „deregulacji” w odniesieniu do rynku energii elektrycznej, pomimo częstego jego użycia w treści dysertacji. Skutkiem powyższego rodzi się pytanie, jak Doktorant rozumie i w jakim kontekście stosuje w pracy kluczowe dla całego wywodu naukowego pojęcie „rynku zderegulowanego”. Rynek energii elektrycznej wydaje się być bowiem raczej prze-, niż zderegulowany. Zakres i liczba obowiązujących przepisów systematycznie rośnie, praktycznie w każdym obszarze sektora

elektroenergetycznego. Potwierdzeniem może być nawet komentarz Doktoranta dotyczący wprowadzenia nowego mechanizmu tj. rynku mocy (str. 13). Wskazane byłoby odniesienie się do powyższych uwag.

- 1.2. Doktorant szczegółowo opisuje w pracy wyniki badań modelowych do 2030 roku podkreślając, że celem uniknięcia „efektu końca świata” horyzont obliczeniowy wyznaczony został na 2050 rok. W literaturze przedmiotu znane jest inne podejście polegające na włączeniu do funkcji celu wartości rezydualnej (*salvage value*) inwestycji. Pojawiają się więc następujące pytania:
 - czy istnieje możliwość zastosowania takiego podejścia w metodzie opracowanej przez Doktoranta, zamiast wydłużania okresu o kilkadziesiąt lat,
 - czy też zastosowanie metod dekompozycji Bendersa oraz stochastycznego dualnego programowania dynamicznego wyklucza włączenie do funkcji celu wartości rezydualnej?
- 1.3. W tekście pracy (str. 87) Doktorant przedstawia ogólną metodę redukcji wymiaru czasowego z 365 do 6 dni rocznych. Choć praktyka modelowania wymaga tego rodzaju działań, w takim przypadku zawsze pojawia się pytanie, czy podejście polegające na przyjęciu reprezentatywnych dni nie wpływa negatywnie na jakość uzyskiwanych wyników. Proszę o komentarz oraz uzasadnienie wyboru zaproponowanej przez doktoranta metody.
- 1.4. W analizach długoterminowych prowadzonych z wykorzystaniem modeli matematycznych, dla uwzględnienia wpływu poprawy kluczowych parametrów technicznych i ekonomicznych (np. wzrost sprawności, wzrost czasu wykorzystania mocy, spadek poziomu nakładów inwestycyjnych etc.) nowych technologii w czasie, wykorzystuje się najczęściej krzywe uczenia (*learning curves*). W treści dysertacji wspomniano co prawda o uwzględnieniu postępu technologicznego, natomiast nie przedstawiono żadnych danych liczbowych. Wskazane byłoby więc wyjaśnienie w stosunku do jakich parametrów nowych technologii zastosowano krzywe uczenia oraz jakie parametry przyjęto dla kluczowych – z punktu widzenia celu pracy – elektrowni wiatrowych i fotowoltaicznych.

- 1.5. Praca doktorska obejmująca dynamicznie zmieniające się uwarunkowania prawno-regulacyjne z zakresu polityki energetyczno-klimatycznej powinna przedstawiać określony, na czas złożenia dysertacji, stan wiedzy. W tym kontekście, w świetle wyników pracy, interesujące byłoby wyjaśnienie, czy wdrożenie postanowień konkluzji BAT (*Best Available Techniques*) ustanawiających znacznie bardziej zastrzone limity emisji, stanowi kolejny instrument o charakterze substytucyjnym w stosunku do rozważanych mechanizmów? Ponadto, czy wdrożenie limitu emisji na poziomie 550 g CO₂/kWh dla nowych technologii jest w ocenie Doktoranta substytucyjne w stosunku do systemu ETS i promocji OZE? Proszę o komentarz.
- 1.6. W wyszczególnionych w podsumowaniu pracy potencjalnych kierunkach rozwoju opracowanego narzędzia badawczego (modelu matematycznego), Doktorant wskazuje możliwość wprowadzenia alternatywnych kryteriów decyzyjnych – jednak nie przedstawia konkretnych propozycji. Proszę o wskazanie innych możliwych do włączenia do modelu kryteriów decyzyjnych oraz wskazanie do rozwiązania jakich problemów badawczych te zmodyfikowane modele mogłyby być wykorzystane.
2. Pomimo bardzo dobrego stylu pisarskiego, wykorzystującego odpowiednie pojęcia z dziedziny nauk ekonomicznych (z dyscypliny ekonomia) i technicznych (przede wszystkim z dyscypliny energetyka), Doktorant nie ustrzegł się pewnych drobnych błędów redakcyjnych. Pominięto je w niniejszej recenzji, ponieważ zostały one omówione i wyjaśnione bezpośrednio z Doktorantem.
3. Przedstawione wcześniej uwagi i kwestie dyskusyjne nie obniżają bardzo wysokiej wartości naukowej recenzowanej rozprawy oraz nie umniejszają osiągnięć i wiedzy teoretycznej Doktoranta.

IV. Wniosek końcowy

1. Przedmiotowa rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie bardzo ważnego problemu naukowego i praktycznego w zakresie dziedziny: **nauk ekonomicznych**, w dyscyplinie: **ekonomia**. Przedstawioną do recenzji pracę mgra Grzegorza Wilińskiego uważam za dzieło bardzo udane pod względem naukowym.
2. Stopień oryginalności problemu naukowego oraz opracowanej metody jego rozwiązania należy ocenić na wysokim poziomie. Biorąc pod uwagę całość rozprawy stwierdzam,

że ogólny poziom wiedzy teoretycznej Doktoranta w dyscyplinie naukowej ekonomia jest wysoki. Posiada on również bardzo dużą umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych, w tym prac o charakterze interdyscyplinarnym, co należy szczególnie podkreślić.

3. Podsumowując, recenzowana rozprawa doktorska pt. *Efektywna dekarbonizacja zderegulowanego sektora elektroenergetycznego* w pełni spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim, zgodnie z ustawą z dn. 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r., nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami). **Wnioskuje do Rady Kolegium Analiz Ekonomicznych Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

