

Prof. zw. dr hab. inż. Eugeniusz Toczyłowski
Zakład Badań Operacyjnych i Systemowych
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej
Politechnika Warszawska

Warszawa, 22 luty 2018 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Grzegorza Wilińskiego

pt.:

“Efektywna dekarbonizacja zderegulowanego sektora elektroenergetycznego”

dla

Kolegium Analiz Ekonomicznych Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie.

Tematyka recenzowanej rozprawy dotyczy strategicznych zagadnień zarządzania, związanych z problematyką perspektywicznego rozwoju sektora elektroenergetyki w Polsce, z uwzględnieniem najważniejszych czynników występujących w tym procesie, a więc warunków i wymagań wynikających z integracji europejskiego rynku energii, w tym aktywnej polityki UE dotyczącej zwiększania wyśrubowanych wymagań redukcji emisji gazów cieplarnianych. W pracy uwzględniono aktualny stan polskiej elektroenergetyki oraz istniejące trendy w światowym rozwoju technologii wytwarzania, przesyłu i magazynowania energii elektrycznej.

Zasadniczym przedmiotem analiz jest weryfikacja hipotez badawczych związanych z długofalową polityką redukcji emisji CO₂ z istniejących instalacji wytwarzania energii oraz ich wymianą na niskoemisyjne źródła wytwórcze. Istotnym elementem badań było opracowanie złożonego, generycznego modelu optymalizacyjnego do planowania rozwoju systemu elektroenergetycznego, opracowanie wariantów rozwoju krajowego systemu elektroenergetycznego w perspektywie lat 2030 i 2050, kalibracja oraz weryfikacja poprawności i adekwatności modelu, a następnie przeprowadzenie szeregu analiz symulacyjnych, w celu weryfikacji sformułowanych hipotez badawczych.

Rozdział pierwszy pracy ma charakter wprowadzenia w problematykę rozprawy. Autor przedstawia w nim podstawowe zagadnienia dotyczące funkcjonowania rynków energii elektrycznej, ze szczególnym uwzględnieniem modeli konkurencji, mechanizmów internalizacji kosztów dekarbonizacji oraz elementów działalności

regulacyjnej w sektorze elektroenergetyki związanych z rozwojem źródeł odnawialnych, mechanizmów rynku mocy oraz innych mechanizmów wsparcia.

Rozdział drugi jest autorską prezentacją wybranych, najważniejszych modeli i metod optymalizacyjnych, znanych z literatury przedmiotu, istotnych z punktu widzenia operatywnego ekonomicznego rozdziału obciążeń oraz planowania rozwoju systemu elektroenergetycznego. Ten rozdział jest bardzo dobrze opracowany z dydaktycznego punktu widzenia. Autor w sposób przemyślany rozpoczyna od prostego modelu ekonomicznego rozdziału obciążeń, wprowadzając do niego kolejno elementy związane z elastycznym popytem i redukcją zapotrzebowania, wymianą transgraniczną, rezerwami mocy oraz ograniczeniami systemowymi. W dalszej części tego rozdziału wprowadzono modele i metody planowania rozwoju systemu, rozpoczynając od prostego, statycznego modelu a kończąc na wieloetapowym, stochastycznym modelu planowania rozwoju, stosującym metodę stochastycznego, dualnego programowania dynamicznego z wykorzystaniem dekompozycji Bendersa.

Pełny, długoterminowy model planowania rozwoju systemu elektroenergetycznego, zaprezentowany w rozdziale trzecim, jest oryginalnym, autorskim wkładem doktoranta, poprawnie wykorzystującym znane rozwiązania algorytmiczne i modelowe, zaprezentowane w rozdziale drugim rozprawy. Ten nietrywialny i bardzo złożony model pozwala poprawnie odwzorowywać zarówno liczne wymagania dotyczące krótkoterminowych ograniczeń operacyjnych w ramach decyzji godzinowych jak i strategiczne decyzje inwestycyjne na wieloletnim horyzoncie. Aby doprowadzić do realistycznego obliczeniowo modelu, rozwiązywalnego w realistycznym czasie obliczeń, Autor dokonał szeregu rozważnych uproszczeń, wykorzystując zauważone, specyficzne cechy problemu. Zaimplementowany algorytm optymalizacyjny zawiera autorskie modyfikacje pozwalające na uproszczenie obliczeń.

Do najważniejszych ograniczeń modelu planowania rozwoju zaliczam np. uproszczenia gry rynkowej związane z zastosowaniem podejścia Bertranda w modelowaniu konkurencji, w efekcie przyjmowanie cen ofertowych opartych na krańcowych kosztach produkcji i pomijanie siły rynkowej podmiotów rynku energii. Kolejnym ograniczeniem jest pomijanie modelu rozwoju energetyki w krajach ościennych w otoczeniu KSE oraz uproszczenia modelu rozwoju sieci przesyłowych i łączy transgranicznych. Powyższe ograniczenia nie osłabiają mojej wysokiej oceny opracowanego modelu planowania rozwoju, wskazują jedynie na potrzebę zachowania

ostrożności w interpretacji wyników ilościowych uzyskiwanych z analiz modelu. Mimo przyjętych ograniczeń, opracowany model planowania rozwoju wydaje się być interesującym i pożytecznym wkładem Autora w tym obszarze.

Kolejny, czwarty rozdział pracy jest poświęcony najważniejszemu, z punktu widzenia weryfikacji tez pracy, zagadnieniom badania adekwatności modelu i analizy skutków zastosowania różnych scenariuszy dekarbonizacji polskiego sektora elektroenergetycznego. Dokonano kalibracji i oceny poprawności działania stworzonego modelu. Następnie zbadano trzy warianty rozwoju rynku energii: (i) wariantu referencyjnego REF ignorującego koszty zewnętrzne dekarbonizacji, (ii) wariantu dekarbonizacyjnego DCO w pełni uwzględniającego koszty zewnętrzne dekarbonizacji na poziomie 30 EUR/t, oraz (iii) wariantu odnawialnego OZE polegającego na podmianie obecnego miksu energetycznego na odnawialne źródła energii (do poziomu 80% zużycia). Badania symulacyjne i analiza rozwiązań opracowanych w rozprawie modeli decyzyjnych doprowadziła do sformułowania i weryfikacji tez pracy.

Tezy rozprawy

Głównym przedmiotem badań w pracy była weryfikacja hipotezy o braku efektywności mechanizmu internalizującego koszty zewnętrzne emisji dwutlenku węgla w redukcji emisji istniejących instalacji elektroenergetycznych oraz stymulowaniu ich wymiany na inne niskoemisyjne konwencjonalne źródła wytwórcze energii elektrycznej.

Dodatkowo, weryfikacji podlegały pomocnicze hipotezy mówiące o braku możliwości funkcjonowania sektora elektroenergetycznego z wysokim udziałem odnawialnych źródeł produkcji energii (OZE) w jej całkowitym zużyciu, hipoteza istotnej współzależności mechanizmów subsydiowania inwestycji w odnawialne źródła energii oraz internalizujących koszty zewnętrzne emisji CO₂, w tym możliwości całkowitej wzajemnej substytucji tych mechanizmów. Ponadto była badana hipoteza o znacząco wyższych kosztach produkcji energii elektrycznej dla klienta końcowego w przypadku zastosowania narzędzi internalizujących koszty zewnętrzne emisji CO₂ lub zwiększających udział źródeł odnawialnych w systemie elektroenergetycznym, w porównaniu do rozwoju systemu elektroenergetycznego bez zastosowania takich narzędzi.

Druga hipoteza pracy odzwierciedla nieustannie dyskutowany w Polsce problem, czy istnieje techniczna możliwość funkcjonowania sektora elektroenergetycznego zdominowanego przez produkcję energii przez odnawialne źródła energii, a bez dużego udziału źródeł konwencjonalnych opartych na węglu. Weryfikacja tej hipotezy została w pracy przeprowadzona poprzez stworzenie i analizę scenariusza rozwoju systemu elektroenergetycznego w Polsce z 80% udziałem energii z odnawialnych źródeł w *zużyciu* energii elektrycznej w 2030 roku. Choć taki udział wykracza daleko poza aktualne oczekiwania, wahające się zazwyczaj w przedziale 20–30 procent, nie w pełni odzwierciedla wszystkie konsekwencje znaczącej dekarbonizacji energetyki. W badaniach należałoby założyć 80% udział energii z odnawialnych źródeł w *produkcji*, a nie *zużyciu*, energii elektrycznej. Ponadto należałoby bardziej kompleksowo uwzględnić ograniczenia i rozwój zdolności sieci przesyłowych, rozwój wymiany międzysystemowej oraz konkurencję europejską.

Czwarta hipoteza jest związana z drugą i dotyczyła zbadania problemu, czy warianty rozwoju systemu zakładające istotną dekarbonizację są wykonalne finansowo. Weryfikacja tej hipotezy została wykonana poprzez porównanie referencyjnego planu REF, ignorującego koszty zewnętrzne emisji CO₂ oraz wszystkie aktualne subsydia dla odnawialnych źródeł energii. Plan REF był podstawą do porównań kosztowych i oceny efektywności redukcji emisji CO₂ w pozostałych scenariuszach. Aby uzyskać bardziej wiarygodne oceny, w scenariuszu OZE należałoby założyć 80% udział odnawialnych źródeł w *produkcji* energii elektrycznej. Ponadto w modelu i jego analizach należałoby uwzględnić pełne konsekwencje kosztowe związane z koniecznością utrzymywania wysokich kosztów rezerw mocy, koszty rozbudowy sieci przesyłowych oraz bardziej realistyczne koszty magazynowania energii w zasobnikach – w tym celu w modelu należałoby rozważyć bardziej realistyczne scenariusze ograniczonej sprawności magazynowania rzędu 80-90%, a nie 95%, oraz koszty związane z ograniczoną trwałością zasobników energii i ograniczoną liczbą cykli ładowania.

Trzecia hipoteza była związana z badaniem ewentualnej nieefektywności jednoczesnego promowania rozwoju odnawialnych źródeł energii i wprowadzania mechanizmów dekarbonizacji. Przeprowadzone analizy potwierdzają przekonanie, że mechanizmy dekarbonizacyjne EU ETS oraz mechanizmy subsydiujące wytwarzanie energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii są redundantne i prowadzą do nieadekwatności i nieefektywności unijnych mechanizmów dekarbonizacji.

Najważniejsze wyniki uzyskane w rozprawie

Na podstawie najnowszych, dostępnych publikacji naukowych w rozprawie przeprowadzono szeroką i wnikliwą krytyczną analizę problematyki rozwoju systemu elektroenergetycznego. Wybór zacytowanych w rozprawie pozycji literaturowych świadczy o bardzo dobrym rozeznaniu Autora w rozważanej dziedzinie badań. Szeroka i wnikliwa analiza tych źródeł posłużyła poprawnemu sprecyzowaniu badanych zagadnień i umiejscowieniu ich na tle, opracowaniu adekwatnego, traktowalnego obliczeniowo modelu optymalizacyjnego, uzasadniła sposób weryfikacji tez pracy oraz potrzebę analiz przeprowadzonych w rozprawie.

Cennym wynikiem pracy jest opracowanie pełnego, długoterminowego modelu planowania rozwoju krajowego systemu elektroenergetycznego, jego uproszczenie i doprowadzenie do traktowalnej, rozwiązywalnej w realistycznym czasie obliczeń obliczeniowo wersji, następnie kalibracja i weryfikacja jego adekwatności. Model jest oryginalnym, autorskim wkładem doktoranta, poprawnie wykorzystującym znane rozwiązania algorytmiczne i modelowe, w którym Autor dokonał szeregu rozważnych uproszczeń, wykorzystując zauważone, specyficzne cechy problemu – agregację bloków cieplnych elektrowni o zbliżonych charakterystykach technicznych, agregację i redukcję liczby dni horyzontu planowania, uproszczenie modelu wymiany transgranicznej. Zaimplementowany algorytm optymalizacyjny stochastycznego, dualnego programowania dynamicznego zawiera autorskie modyfikacje pozwalające na uproszczenie obliczeń, dzięki pomysłowemu wyeliminowaniu tzw. cięć dopuszczalności.

Do mocnych stron rozprawy zaliczam też stosunkowo szeroki zakres przeprowadzanych eksperymentów symulacyjnych i analiz, umożliwiających weryfikację poprawności modelu, zbadanie szczegółowych tez rozprawy oraz przekonujące uzasadnienie wniosków z badań.

Mimo pewnych uwag krytycznych zaprezentowanych poniżej, wszystkie uzyskane w rozprawie wyniki są poprawne, zostały przeprowadzone właściwymi metodami badawczymi i oceniam je wysoko. Sposób prezentacji zasadniczych wyników uzyskanych w rozprawie jest czytelny i niebudzący moich wątpliwości.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Uważam, że zakres rozważanych problemów i postawionych hipotez badawczych jest zbyt ambitny i zbyt szeroki jak na rozprawę doktorską. Moim zdaniem wystarczającym byłoby ograniczenie zadań rozprawy do opracowania i weryfikacji modelu planowania rozwoju oraz przeprowadzenie szeregu analiz typu „what if”, w których mogłyby być badane różnorodne, zakładane scenariusze rozwoju, przy zakładanych hipotetycznych trendach rozwoju technologii oraz prognoz cenowych. Twarde wnioski z badań modelu odnośnie weryfikacji sformułowanych hipotez badawczych nie są moim zdaniem w pełni uzasadnione, gdyż wyniki analiz zależą od przyjmowanych hipotetycznych założeń i trendów. Uzyskanie większej wiarygodności wymagałoby też porównania z innymi modelami rozwoju, np. z modelem PRIMES rozwoju energetyki europejskiej (mimo jego wad i ograniczeń).

Hipotezy rozprawy bezpośrednio przedstawione we wstępie rozprawy (patrz strona v) zostały sformułowane niezręcznie, wręcz myląco. Dosłownie ujmując, jeśli weryfikacja głównej hipotezy o braku efektywności mechanizmu internalizującego koszty zewnętrzne była pozytywna, to prowadziła do odwrotnych wniosków niż uzyskane w pracy, a z kolei brak efektywności stosowanego w UE mechanizmu handlu emisjami można by uzasadnić w inny sposób, na gruncie teoretycznym. Podobne uwagi dotyczą też hipotez pomocniczych, które w zasadzie są jedynie nakreśleniem tematów badawczych, nie są precyzyjnym sformułowaniem tez rozprawy, których poprawna weryfikacja dałaby odpowiedź pozytywną (lub negatywną).

Analiza wyników rozprawy pobudza do wielu zapytań i uwag o charakterze dyskusyjnym. Mam oczywiście świadomość, że dalsze wątki analiz wykraczałyby poza i tak zbyt szeroki zakres rozprawy. Dlatego tutaj ograniczę się do pytania, w ramach dyskusji, które może wskazywać na dalsze kierunki badań i w żadnym przypadku nie obniżają mojej pozytywnej oceny wyników już uzyskanych w rozprawie. Byłoby interesujące przebadanie możliwości modelu w ramach analizy „what if”, w celu stwierdzenia, jaka jest odporność pozytywnego wyniku weryfikacji tezy rozprawy o możliwości funkcjonowania z 80% udziałem odnawialnych źródeł w produkcji energii. Przy jakich założeniach odnośnie trendów rozwoju technologii i zmian kosztów taki wariant może być ekonomicznie uzasadniony w stosunku do wariantu referencyjnego, a przy jakich nie?

Praca została napisana przejrzysto i w dobrze zredagowanej formie, jednak zawiera pewną, liczbę drobnych uchybień językowych i redakcyjnych.

Podsumowanie

Podsumowując ocenę wyników uzyskanych w rozprawie doktorskiej Grzegorza Wilińskiego stwierdzam, że uzyskane przez niego wyniki naukowe stanowią znaczący wkład w analizę systemowych rozwiązań rynkowych dla elektroenergetyki, pozwalając na ilościowy wgląd w ocenę ekonomiczną strategicznych decyzji inwestycyjnych i dezynwestycyjnych w sektorze elektroenergetyki w długim, wieloletnim horyzoncie czasowym.

Uważam, że rozprawa z wyraźnym nadmiarem spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora nauk ekonomicznych poprzez przepisy Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym. Wnioskuje zatem o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

