

dr hab. inż. Waldemar Skomudek, prof. nadzw.
Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki
Politechnika Opolska
ul. Luboszycka 5
45-036 Opole

Opole, 12.08.2016 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Wojciecha Łyżwy nt.

Optimization of Energy Mix with Significant Shares of Renewable Energy Sources

***(Optymalizacja miksu energetycznego ze znaczącym udziałem
odnawialnych źródeł energii)***

**opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki,
Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej
z dnia 15. 06. 2016 r.**

**Promotor: prof. dr hab. inż. Władysław Mielczarski
Promotor pomocniczy: dr inż. Michał Wierzbowski**

1. Aktualność i oryginalność tematyki oraz cel i teza rozprawy

Recenzowana rozprawa jest poświęcona zagadnieniu miksu energetycznego, w którym różnorodność źródeł energii gwarantuje nie tylko różne sposoby jej wytwarzania, ale także większe bezpieczeństwo kraju w razie awarii, czy wyczerpania lub nieopłacalności produkcji pochodzącej z danego rodzaju źródeł. Specyfiką rozprawy jest uzasadnione zawężenie problematyki miksu energetycznego do optymalizacji bilansu mocy w warunkach generacji pochodzącej głównie z konwencjonalnych źródeł energii, zmienności zapotrzebowania na energię elektryczną oraz konieczności uwzględnienia w bilansie energetycznym generacji pochodzącej z odnawialnych źródeł energii. Problematyka objęta pracą badawczą Autora rozprawy stanowi istotny wkład w procesie tworzenia nowego mechanizmu bilansowania systemu elektroenergetycznego, uwzględniającego ewolucję rynku energii elektrycznej. Podstawą procesu ewolucji rynku energii elektrycznej jest dopuszczenie w otoczeniu wielkoskalowej konwencjonalnej energetyki na rozwój generacji rozproszonej, ze szczególnym uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii. Opracowanie nowej metody optymalizacji miksu energetycznego oraz przeprowadzenie symulacji potwierdzających efektywność jej działania, to podstawowe obszary badawcze stanowiące podstawę recenzowanej pracy.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest opracowaniem o charakterze naukowo-technicznym, jasno określonym celu oraz prawidłowo postawionej i udowodnionej tezie. Autor w treści rozprawy doktorskiej wskazuje na istotny aspekt rozwoju w kraju energetyki rozproszonej, ze szczególnym uwzględnieniem dużej dynamiki przyrostu mocy w generacji energii elektrycznej pochodzącej z odnawialnych źródeł. W pracach badawczych Autor dostrzega i uwzględnia zmienność zapotrzebowania na energię elektryczną, zmienność wolumenu energii produkowanej przez odnawialne źródła energii oraz narastający w kraju

problem bilansowania systemu elektroenergetycznego m.in. w „dolinie nocnej”. W rozprawie doktorskiej wyraźnie zaakcentowano potrzebę opracowania skutecznego narzędzia, umożliwiającego optymalizację miksu energetycznego głównie na płaszczyznach ekonomicznej i bilansowej.

W zasadniczej części opisowej (rozdziały 2, 3, 4, 5) Autor rozprawy przywołuje informacje dotyczące zasad funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, z uwzględnieniem wpływu regulacji wynikających z Pakietu Klimatyczno-Energetycznego, zasad funkcjonowania rynku energii elektrycznej oraz przyszłego funkcjonowania rynku mocy. Zasadniczą część pracy stanowią rozdziały do 6 do 12, które zawierają bardzo szeroko rozwiniętą procedurę udowadniającą tezę rozprawy doktorskiej. Dowód tezy, w szczególności opiera się na:

- opracowaniu zbioru danych wymaganych do optymalizacji miksu energetycznego,
- określeniu scenariuszy symulacji umożliwiających weryfikację modelu optymalizacyjnego,
- wyborze algorytmu optymalizacji, wykorzystującego metodę uporządkowanych krzywych obciążeń,
- ocenie dokładności obliczeniowej i czasu obliczeń modelu optymalizacyjnego, korzystającego z krzywej obciążenia netto,
- analizie uzyskanych wyników i sformułowaniu rekomendacji dla wdrożeń praktycznych i dalszych prac badawczych.

Opis zagadnienia pn. „miks energetyczny” znajduje się w wielu pracach opublikowanych w ostatnich latach. Świadczy to przede wszystkim o aktualności problematyki. Jest to także potwierdzeniem istnienia jeszcze ciągłej potrzeby weryfikacji funkcji bilansowania systemu elektroenergetycznego, w stale zmieniającym się wizerunku rynku energii elektrycznej. Zatem, opracowanie metody kompleksowej optymalizacji miksu energetycznego z uwzględnieniem zmodyfikowanej metody uporządkowanej krzywej obciążenia stanowi oryginalny dorobek Autora. Główną przesłanką uzasadniającą prezentowane stanowisko są wykonane analizy, symulacje i ocena uzyskanych rezultatów badań.

2. Rozwiązanie postawionego zadania - metody i samodzielność Autora

Praca jest o objętości 246 stron. Została podzielona na 13 głównych rozdziałów, przy czym rozdziały od 3 do 12 oraz rozdział 13 – podsumowujący stanowią zasadniczą część rozprawy doktorskiej. W pracy zamieszczono 97 rysunków i 45 tablic. W bibliografii umieszczono 152 pozycje literatury. Lista publikacji współautorskich doktoranta zawiera 10 pozycji. Na wskazanej liście znajduje się 6 publikacji współautorskich, które zostały zamieszczone w czasopiśmie ujętych na liście czasopism naukowych punktowanych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Sumaryczna liczba punktów przypadających na autora publikacji wynosi 35.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska zawiera cel i tezę oraz tryb postępowania umożliwiający przeprowadzenie dowodu postawionej tezy. W rozdziale 13 rozprawy przedstawiono podsumowanie wyników badań dowodzących słuszność tezy oraz rekomendacje dla wdrożeń praktycznych. Zamiarem Autora rozprawy było opracowanie i zbadanie metody długoterminowej optymalizacji miksu energetycznego, wykorzystującej krzywą obciążenia netto. W rozpatrywanych scenariuszach miks energetyczny uwzględniał generację w technologiach węglowej, gazowej i wiatrowej. Konkluzja symulacji różnych scenariuszy

bilansowania systemu elektroenergetycznego wskazuje także na potrzebę zastosowania w szerokiej skali magazynów energii, w szczególności dla generacji wiatrowej.

Realizując zamierzony cel Autor rozprawy w kolejnych rozdziałach przywołał ogólne informacje charakteryzujące specyfikę funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (rozdział 2), dokonał analizy literaturowej wskazując na stan wiedzy w przedmiocie tematu rozprawy doktorskiej (rozdział 3), scharakteryzował krajowy miks energetyczny opierając się na danych Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A. (rozdział 5). Rozdziały od 6 do 9 stanowią najistotniejszą częścią rozprawy i odnoszą się do nowej metody optymalizacji miksu energetycznego, wykorzystania krzywej obciążenia oraz prowadzenia weryfikacji zaproponowanej metody poprzez porównanie dotychczas stosowanymi metodami. W kolejnych rozdziałach Autor dokonuje analizy i oceny uzyskanych wyników scenariuszy podlegających symulacji, a w rozdziale 13 podsumowuje prowadzone badania wskazując na słuszność postawionej tezy.

Wykonanie przez Autora rozprawy pracy badawczej, pozwala na stwierdzenie, że istnieje możliwość optymalizacji miksu energetycznego, w którym znaczącym źródłem energii elektrycznej jest generacja OZE, a konsumpcja energii podlega okresowo znaczącym zmianom.

Reasumując, można potwierdzić, że wyniki przeprowadzonych badań, symulacji oraz analizy i oceny uzyskanych wyników są oryginalne. Ich ranga jest znacząca, w szczególności z powodu bezpośredniego powiązania procesu bilansowania systemu energetycznego z potrzebą zagwarantowania bezpieczeństwa energetycznego kraju/odbiorców. Skupiając uwagę na treści rozprawy i uzyskanych przez Doktoranta wynikach badań można ją oceniać w sposób właściwy, obiektywny i jednoznacznie pozytywny.

Autor rozprawy osiągnął zamierzony cel pracy m.in. poprzez:

- analizę pracy systemu elektroenergetycznego z uwzględnieniem europejskiej polityki energetycznej,
- analizę różnych metod optymalizacji miksu energetycznego oraz ocenę możliwości zaproponowania nowych rozwiązań,
- ocenę możliwości wprowadzenia zmian do metody optymalizacji miksu energetycznego uwzględniających aspekt techniczny, ekonomiczny oraz regulacyjny,
- symulacje różnych scenariuszy miksu energetycznego,
- analizę uzyskanych wyników symulacji,
- zaproponowanie i zweryfikowanie nowego modelu optymalizacji miksu energetycznego uwzględniającego znaczący udział odnawialnych źródeł energii.

Na podstawie wskazanych osiągnięć można stwierdzić, że postawione w tezie rozprawy kwestie zostały rozwiązane w sposób satysfakcjonujący zarówno recenzenta, jak i z dużym prawdopodobieństwem znaczącą część zainteresowanego środowiska naukowego.

3. Wiedza Autora i umiejętność prezentowania przez niego wyników naukowych

Omawiając w kolejnych rozdziałach rozprawy sposób realizacji jej celu Autor potwierdził swoje predyspozycje naukowe i wiedzę z zakresu tematyki, obejmującej:

- funkcjonowanie rynku energii elektrycznej, w tym funkcjonowanie rynku bilansującego,
- zarządzanie elektroenergetyką w zakresie tworzenia planów rozwoju uwzględniających m.in. nowe inwestycje w zakresie odnawialnych źródeł energii i ich udziału w bilansie energetycznym,
- prowadzenie analiz systemowych w zakresie zapewnienia odpowiedniego poziomu zapasów wytwórczych i rezerw w systemie elektroenergetycznym,
- technikę badań modelowych i symulacyjnych,
- technikę obliczeń komputerowych.

Dzięki tym umiejętnościom Autor uzyskał interesujące rezultaty symulacji i mógł przeprowadzić merytoryczną ich analizę i ocenę. Wykazał bardzo dobre przygotowanie teoretyczne i dużą zręczność zarówno w modelowaniu, doborze funkcji celu, jak i komputerowej symulacji rozpatrywanych zagadnień. Autor rozprawy uzyskał zdolność samodzielnego prowadzenia badań, a także posiada umiejętność przedstawiania i komentowania uzyskanych wyników badań i analiz oraz formułowania wniosków.

Ponadto, Autor rozprawy w sposób zadowalający operuje językiem angielskim, co stanowi dodatkowy walor posiadanych predyspozycji prezentacji własnych osiągnięć naukowych m.in. na konferencjach międzynarodowych, organizowanych w kraju i zagranicą, a także przy nawiązywaniu międzynarodowych kontaktów naukowych. Uzyskane przez doktoranta wyniki pracy oraz sformułowane rekomendacje są wystarczające, aby włączyć Autora rozprawy doktorskiej do grona specjalistów, którzy posiadają umiejętność inicjowania badań naukowych, uzyskiwania interesujących rezultatów swoich prac i zadowalającego ich prezentowania.

Zdaniem recenzenta, Autor rozprawy przyczynił się do rozwoju reprezentowanej przez siebie dziedziny nauki.

4. Uwagi, zastrzeżenia do rozprawy doktorskiej

Zdaniem recenzenta praca jest poprawnie zredagowana, a nieliczne usterki redakcyjne nie przekraczają poziomu krytycznego, wymagającego szczególnego odniesienia Doktoranta.

Ponieważ rozprawa dotyczy jednak bardzo istotnego zagadnienia optymalizacji bilansowania systemu elektroenergetycznego należy oczekiwać, że Autor zechce podczas obrony szerzej skomentować zagadnienia sformułowane w następujący sposób:

1. W podsumowaniu Autor rozprawy stwierdził, cyt.: *Na obecnym etapie rozwiązaniem problemu nadmiaru produkcji energii elektrycznej może być ograniczenie produkcji ze źródeł odnawialnych w zależności od wielkości zapotrzebowania na energię elektryczną.* Stwierdzenie Autora bardzo oczywiste, ale niemożliwe do realizacji w świetle obowiązujących regulacji prawnych. Zatem, w jaki sposób (w jakim stopniu) brak możliwości zastosowania zaproponowanego rozwiązania będzie miało wpływ na rezultat pracy badawczej Autora.
2. W rozprawie doktorskiej Autor koncentruje się na optymalizacji miksu energetycznego za pomocą programowania całkowito-liczbowego korzystając z metody uporządkowanej krzywej obciążenia netto. Czy Autor rozprawy może wskazać różnice w optymalizacji miksu energetycznego wynikające z porównania

opracowanej metody z metodą programowania liniowego, zastosowaną w opracowaniu pt.: *Model optymalnego miks energetycznego dla Polski do roku 2060. Wersja 2.0, 12 listopada 2013 r.?*

5. Końcowa ocena rozprawy

Podane w rozprawie rozważania i jej wyniki pozwalają na stwierdzenie, że Doktorant dysponuje ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej elektrotechnika, podjął oryginalne i ważne zadanie, rozwiązał je, stosując akceptowalne metody oraz wykazał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam więc, że recenzowana rozprawa odpowiada wymaganiom stawianym w art. 13. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z następnymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej.

Recenzent

