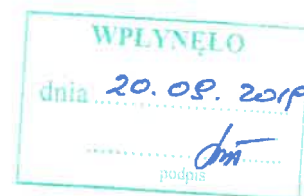




Politechnika Łódzka

Instytut Elektroenergetyki



dr hab. Irena Wasiak, prof. nadzw.

Łódź, 26.08.2019

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Edmunda Ciesielki  
p.t. „Zarządzanie źródłami rozproszonymi w aspekcie bilansowania handlowego  
i technicznego. Agregacja źródeł.”

- opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki  
i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie z dnia 5.07.2019

### 1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca dotyczy tematyki funkcjonowania generacji rozproszonej w krajowym systemie elektroenergetycznym (KSE) i mieści się w **dyscyplinie Elektrotechnika**. Przedmiotem pracy jest koncepcja wykorzystania źródeł rezerwowych i innych rozproszonych źródeł energii do interwencyjnego bilansowania mocy i energii w systemie.

Można stwierdzić, że podjęta przez Doktoranta tematyka jest aktualna i ma istotne znaczenie praktyczne. Zapewnienie bilansu mocy i energii jest podstawowym warunkiem stabilnej pracy systemu i wymaga odpowiedniej regulacji po stronie wytwarzania lub/i zapotrzebowania. Zasadnicza regulacja, należąca do zadań operatora, odbywa się po stronie wytwarzania i polega na zarządzaniu zasobami wytwórczymi.

Struktura regulacji mocy i częstotliwości w systemie elektroenergetycznym obejmuje trzy poziomy. Regulacja pierwotna prowadzi do uzyskania bilansu mocy przy częstotliwości innej niż przed zakłóceniem i jest efektem zadziałania regulatorów prędkości obrotowej generatorów synchronicznych. Przywrócenie częstotliwości do wartości jak przed zakłóceniem jest zadaniem regulacji wtórnej, realizowanej przez wybrane jednostki generacyjne na sygnał układu ARCM (*Automatyczna Regulacja Mocy i Częstotliwości*). Ostatni etap regulacji stanowi tzw. regulacja trójna, niezbędna dla odtworzenia rezerwy jednostek regulacyjnych uczestniczących w odbudowie częstotliwości.

Warunkiem skutecznej regulacji na każdym jej poziomie jest istnienie odpowiedniej rezerwy mocy, a zatem poszukiwanie nowych mocy wytwórczych w systemie elektroenergetycznym jest uzasadnione. Rozwój generacji rozproszonej przyczynia się do bilansowania lokalnego, a więc wpływa także na bilansowanie całego systemu. Z punktu widzenia możliwości regulacyjnych kluczowym ograniczeniem jest jednak słaba dyspozycyjność takich źródeł. W szczególności dotyczy to źródeł odnawialnych (OZE), których generacja zależy od dostępności energii pierwotnej.



Do środków, które można zastosować w sytuacji naruszenia równowagi w systemie elektroenergetycznym należy także ograniczenie poboru mocy i energii, realizowane jako usługa systemowa za pomocą programu DSR (*Demand Site Response*) przez odbiory posiadające zdolności przesunięcia lub redukcji mocy zapotrzebowanej. Doktorant zauważa, że usługa DSR może być realizowana także przez źródła rozproszone relatywnie małej mocy, które poprzez lokalną generację dają efekt zmniejszenia zapotrzebowania ze strony systemu elektroenergetycznego w wymaganych okresach czasu. W pracy przedstawia celowość, potencjał i koncepcję wykorzystania takich źródeł, a przede wszystkim źródeł rezerwowych, stosowanych w instalacjach odbiorczych w celu zwiększenia niezawodności zasilania.

Uważam, że cel pracy został jasno postawiony i przekonująco uzasadniony.

Rozprawa doktorska obejmuje 124 strony, została logicznie zredagowana w 7 rozdziałach, z wykorzystaniem 75 pozycji literatury. W pracy umieszczono wykaz skrótów i oznaczeń oraz spis tabel i rysunków.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do dalszej części pracy. Podano w nim uzasadnienie podjęcia tematu, cel i tezy rozprawy oraz omówienie struktury pracy. W kolejnych dwóch rozdziałach opisano zagadnienia rynku energii oraz scharakteryzowano podsystem wytwórczy.

Dalsza część pracy zawiera analizy Autora uzasadniające potrzebę zwiększenia mocy bilansujących, proponowaną koncepcję wykorzystania źródeł rezerwowych, opis przeprowadzonych eksperymentów technicznych oraz ideę wykorzystania wirtualnej elektrowni. Rozprawa została podsumowana wnioskami zamieszczonymi w rozdziale 8.

## **2. Ocena wartości naukowej rozprawy**

Rozprawa stanowi interesujący wkład do rozważań nad wykorzystaniem rozproszonych źródeł energii do realizacji usług systemowych bilansowania mocy i energii. W tezie pracy mowa jest o „*zasobach wytwórczych energii elektrycznej źródeł rozproszonych, w tym agregatów rozproszonych..*”, ale w dalszej części pracy Doktorant koncentruje się na źródłach rezerwowych i w tym zakresie przedstawione w pracy analizy techniczne i ekonomiczne mogą stanowić dowód przedstawionej tezy.

Pojęcie generacji rozproszonej przewija się wielokrotnie w dalszej części pracy w kontekście usług systemowych. Z uwagi na różnorodność technologiczną, o której zresztą wspomina sam Autor w rozdziale 3 i różne własności eksploatacyjne takich źródeł, korzystne dla lepszego zrozumienia tekstu byłoby jednoznaczne zdefiniowanie co Autor rozumie przez „źródła dodatkowe”, tj. jakich źródeł generacji rozproszonej (poza rezerwowymi, których sens wykorzystania jest jasny) dotyczy praca. Brak takiej definicji prowokuje pytania, m.in. wymienione w p.3.

Dla oceny zasadności poszukiwania dodatkowych mocy, Autor przeprowadził szeroką analizę możliwości bilansowania KSE w dłuższym horyzoncie czasowym. Analiza zawarta jest w rozdziale 4 i dotyczy porównania generacji konwencjonalnych źródeł energii z jednej strony oraz zapotrzebowania na moc w systemie, z drugiej. Autor szczegółowo prezentuje wyniki przeprowadzonych badań i zamieszcza odpowiedni materiał ilustracyjny. W moim przekonaniu analiza wyników jest rzetelna, a jej wyniki stanowią ciekawy materiał poznawczy. W wyniku analizy Autor stwierdza, że zasadne jest wykorzystanie źródeł rezerwowych do realizacji usługi systemowej w zakresie bilansowania mocy i energii i ocenia potencjał generacyjny takich źródeł jako znaczący.

W kolejnym rozdziale Doktorant opisał model zarządzania generacją rozproszoną, w znaczeniu wykorzystania „...istniejących i potencjalnie budowanych w przyszłości źródeł wytwórczych o niewielkich mocach do interwencyjnego zapewnienia odpowiedniej podaży w KSE.” Z dalszej części tekstu wynika, że w rozpatrywanej grupie źródeł znajdują się także źródła odnawialne, których wykorzystanie do realizacji usług systemowych nie jest przecież oczywiste. W założeniach do modelu nie sprecyzowano ograniczeń technicznych właściwych dla określonej klasy źródeł, przez co prezentowany model pozostaje na etapie ogólnej koncepcji. Należy w tym miejscu zauważyć, że opracowanie zasad zarządzania pracą źródeł generacji rozproszonej jest zadaniem trudnym i dotychczas nie rozwiązany, pomimo wielu prac w tym zakresie.

Dla wykazania technicznej możliwości wykorzystania źródeł rezerwowych do świadczenia usług bilansowania Autor przeprowadził eksperymenty opisane w rozdziale 6. W ramach tych eksperymentów przetestowano możliwości zdalnego załączania agregatów prądotwórczych do pracy synchronicznej oraz do pracy wyspowej. Do testów wykorzystany został opracowany przez Autora system komunikacji i układ pomiarowo-sterujący. Eksperymenty jednoznacznie potwierdziły skuteczność zaproponowanego układu i możliwość zdalnego sterowania źródłami do realizacji usługi wprowadzenia lub też celowego niewprowadzenia energii do sieci.

Dalsza część tezy pracy dotyczy zagadnień regulacyjnych i ekonomicznych. W rozdziale 7 Doktorant przedstawił koncepcję agregacji źródeł w wirtualnej elektrowni i oferowania usługi regulacyjnej przez odrębny podmiot – uczestnika rynku, tj. agregatora. Podejście takie jest zgodne z działaniami europejskimi i z pewnością warto szczegółowego rozważenia. Koncepcja wirtualnej elektrowni zwiększa bowiem możliwości wykorzystania rozproszonych źródeł małej mocy w realizacji usług systemowych. Ciekawym aspektem tego zagadnienia są zasady agregacji, w tym bariery prawne, które nie znalazły się w zakresie recenzowanej rozprawy, ale można przypuszczać, że zostaną one podjęte w dalszych pracach Autora nad rozwojem tej koncepcji, wskazanych w podsumowaniu rozprawy.

Za wartościowe i oryginalne elementy pracy uważam:

- analizę zasadności wykorzystania źródeł rezerwowych do bilansowania mocy i energii,
- badania eksperymentalne pokazujące możliwości wykorzystania źródeł rezerwowych do bilansowania mocy i energii,
- koncepcję modelu wykorzystania źródeł rezerwowych do realizacji usług systemowych.

Praca jest napisana w sposób zwięzły, co generalnie uważam za zaletę, choć miejscami brakuje jej naukowej precyzji. Sposób pisania wskazuje na dobrą znajomość przez Autora niełatwych zagadnień rynkowych, znajomość regulacji prawnych i swobodę w poruszaniu tych tematów. Redakcja pracy jest staranna, a drobne usterki językowe i formalne są na akceptowalnym poziomie.

### **3. Uwagi i pytania szczegółowe dotyczące treści pracy**

Najważniejsze merytoryczne uwagi i pytania jakie nasuwają się po lekturze pracy przedstawiono poniżej.

1. Trudno zgodzić się ze stwierdzeniem podanym na str. 70, tj. „Wykorzystanie źródeł rozproszonych zakłada krótkotrwałe ich działanie przy sprzyjających warunkach ekonomicznych”. Wiele źródeł pracuje w sposób ciągły, a w szczególności dotyczy to źródeł odnawialnych, które wykorzystują darmową energię pierwotną. Proszę o wyjaśnienie tego stwierdzenia.
2. Słuszny jest wniosek podany w podsumowaniu analizy przedstawionej w rozdziale 4 (str. 72), że wzrasta popyt na energię elektryczną w KSE i należy poszukiwać nowych mocy wytwórczych. Tymi zagadnieniami zajmuje się planowanie rozwoju systemu elektroenergetycznego krótko- i długoterminowe, w którym uwzględnia się także rozwój generacji rozproszonej. Generacja rozproszona nie jest więc „dodatkową możliwością”, jak pisze Autor, chyba, że jednoznacznie ograniczymy ją do źródeł rezerwowych.
3. Opis założeń do modelu zarządzania generacją rozproszoną, podany na str. 73, jest nieprecyzyjny. Autor stwierdza, że model dotyczy „źródeł wytwórczych o niewielkich mocach do interwencyjnego zapewnienia odpowiedniej podaży w KSE”. Jaki jest zatem podstawowy reżim pracy tych źródeł? Czy mają pracować jako rezerwowe? Jaki byłby sens wykorzystania jako rezerwowe źródeł odnawialnych? Jakie wymagania techniczne muszą spełniać OZE, aby mogły one świadczyć systemową usługę bilansowania?
4. W modelu realizacji usługi konieczne jest zdefiniowanie minimalnego czasu reakcji urządzenia do osiągnięcia wymaganej mocy oraz czasu, w jakim ta moc może być dostarczana. Proszę o sprecyzowanie tej kwestii.
5. Jaki reżim pracy źródła założono w scenariuszu przedstawionym w rozdziale 7.1.1? Proszę o podanie bardziej szczegółowego opisu metodyki i zależności, które Autor zastosował do w analizie scenariuszy prezentowanych w rozdziale 7.

Nieliczne uwagi o charakterze edytorskim zamieściłam w załączniku do recenzji.

#### 4. Wniosek końcowy

W rozprawie wykazano, że celowe jest wykorzystanie źródeł generacji rozproszonej do bilansowania mocy i energii, a w szczególności, że technicznie możliwa jest realizacja usług systemowych przez źródła rezerwowe. Wyniki uzyskane przez Doktoranta są interesujące i mają potencjał aplikacyjny, w szczególności mogą stanowić inspirację i wytyczne dla właścicieli źródeł, operatorów sieci dystrybucyjnych, agregatorów, jak również mogą być wykorzystane w pracach instytucji regulacyjnych. Praca może przyczynić się do rozwoju zainteresowania wykorzystaniem źródeł rezerwowych do bilansowania interwencyjnego oraz do stworzenia odpowiednich modeli biznesowych w tym zakresie.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Edmunda Ciesielki spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę z dnia 14.03.2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw z dnia 27.09.2017, poz. 1789) oraz rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19.01.2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim, postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dziennik Ustaw z dnia 30.01.2018, poz. 261). Stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*Irma Wasras*

## Załącznik

### Uwagi edytorskie

1. Str. 45, rys. 1.2: Jak należy rozumieć oznaczenie osi poziomej? Któremu rokowi odpowiada punkt początkowy?
2. Str.29, rys. 3.1, 3.2: Profile generacji i zapotrzebowania podaje się zwykle jako zależności mocy wytwarzanej/zapotrzebowanej w funkcji czasu, a nie liczby próbek pomiarowych. Wykresy w funkcji czasu mogą być łatwiej wykorzystane w analizie bilansowania i rozwiązywaniu problemów zarządzania pracą sieci.
3. Str. 45, rys. 4.5: Kolory podane w legendzie nie odpowiadają kolorom na rysunku
4. Str. 79, rys. 5.6: Dla kogo wystawia fakturę wytwórca?
5. Str. 105: kilkukrotne pomyłki w odwołaniu do rysunków

*Grzegorz Wasil*