

Prof. dr hab. inż. Paweł Sowa
Politechnika Śląska, Gliwice
Katedra Elektroenergetyki i Sterowania Układów

Gliwice, 2023-08-27

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Daria Złotecka:

**“ODBUDOWA ZDOLNOŚCI WYTWÓRCZYCH ELEKTROWNI
PO AWARII KATASTROFALNEJ SYSTEMU
ELEKTROENERGETYCZNEGO”**

1. Podstawa wykonania recenzji

Niniejszą recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 20.06.2023r. Podstawą wykonania jest opracowanie pod ww. tytułem, o objętości 192 stron, w tym spis literatury zawierający 186 pozycji oraz 1 załącznik.

2. Teza naukowa i zakres pracy

Teza naukowa została sprecyzowana w rozdziale 1.2 na stronie 15 pracy. Zdaniem Autorki:

„Postępujące zmiany w strukturze wytwarzania energii elektrycznej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym wiążą się z koniecznością aktualizacji dotychczasowych planów odbudowy zdolności wytwórczych po awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego i opracowania strategii w oparciu o minimalizację czasu procesu odbudowy i ryzyka z nim związanego”.

Teza została uzupełniona o trzy dodatkowe twierdzenia:

- ze względu na zagrożenie awariami katastrofalnymi w systemie elektroenergetycznym, postępująca transformacja energetyczna w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym wymusza aktualizację planów obrony i odbudowy zdolności wytwórczych;
- wieloetapowy proces odbudowy zdolności wytwórczych jest obarczony ryzykiem niepowodzenia lub wydłużeniem czasu trwania awarii katastrofalnej, dlatego istnieje konieczność opracowania narzędzi pozwalających oszacować poziom ryzyka na poszczególnym etapie jego realizacji;
- porównanie proponowanych scenariuszy odbudowy zdolności wytwórczych może zostać zrealizowane z wykorzystaniem metod analizy ryzyka.

Autorka określiła podstawowy cel pracy:

Głównym, oryginalnym celem niniejszej rozprawy jest opracowanie scenariuszy odbudowy zdolności wytwórczych po awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego z uwzględnieniem zróżnicowanej struktury wytwarzania energii elektrycznej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym oraz zaproponowanie modelu oceny ryzyka dla przyjętych scenariuszy odbudowy zdolności wytwórczych.

Dla udowodnienia powyższej tezy oraz realizacji wymienionego celu Autorka przyjęła następujący zakres swojej pracy:

W rozdziale drugim przedstawiła, przewidywane zmiany w strukturze wytwórczej w KSE wraz z ich konsekwencjami dla bezpieczeństwa pracy KSE w stanach normalnym oraz awaryjnych.

Rozdział trzeci zawiera autorską analizę statystyczną największych awarii systemowych.

W rozdziale czwartym Autorka dokonała przeglądu stosowanych strategii postępowania na wypadek awarii katastrofalnych w systemach elektroenergetycznych przy rozróżnieniu wpływu różnych źródeł wytwórczych na proces odbudowy zdolności wytwórczych.

Rozdział piąty stanowi przegląd literatury, dotyczący badań naukowych w zakresie awarii katastrofalnych podczas rozwoju oraz odbudowy systemu elektroenergetycznego po wystąpieniu awarii. Autorka zwróciła również uwagę na publikacje dotyczące nowych propozycji strategii angażowania źródeł odnawialnych w procesy obrony i odbudowy.

Rozdział szósty prezentuje metodologię i wyniki badań symulacyjnych dla przyjętych scenariuszy odbudowy zdolności wytwórczych, opracowanych w programie symulacyjnym DIGSILENT PowerFactory. W badaniach uwzględniono zarówno aktualne jak i nowe strategie odbudowy wykorzystujące odnawialne źródła energii.

W rozdziale siódmym przedstawiono opracowany model zarządzania ryzykiem w procesie odbudowy zdolności wytwórczych. W tym celu zaproponowano jakościową analizę ryzyka metodą muchy (ang. bow-tie) oraz ilościową analizę ryzyka, bazując na wielokryterialnej metodzie hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych AHP (ang. Analytic Hierarchy Process) oraz rozmytej metodzie FAHP (ang. Fuzzy Analytic Hierarchy Process).

W rozdziale ósmym podsumowano wyniki analiz przedstawionych w rozprawie i sprecyzowano wnioski oraz dalsze kierunki badań w ramach przedstawianego zagadnienia

3. Ocena znaczenia i aktualności podjętej tematyki

Zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego jest jednym z najważniejszych zadań we współczesnym świecie. To powoduje, że w wielu krajach wymuszane jest wprowadzenie odpowiedniej polityki energetycznej obejmującej uwarunkowania wewnętrzne oraz aspekty zewnętrzne. Wydaje się, że pomimo rosnącego udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w miksie energetycznym poszczególnych państw, paliwa kopalne będą nadal dominować w światowej energetyce – co wynika chociażby z konieczności zapewnienia stabilizacji dostaw energii.

Analizując aktualne warunki pracy polskiej energetyki, takie jak topologia sieci przesyłowych i dystrybucyjnych, miks paliwowy, technologie magazynowania oraz stopień komercjalizacji inteligentnych sieci, należy stwierdzić, że najlepszym gwarantem bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej w kraju pozostaje energetyka systemowa. OZE w miksie energetycznym nie zapewniają ciągłości dostaw, ze względu na ich niestabilny (okresowy) charakter pracy. Jednocześnie jednak, jak to słusznie odnotowała Autorka na stronie 11 rozprawy, aktualna tendencja wskazuje na malejący trend wystarczalności KSE z punktu widzenia krajowej produkcji energii elektrycznej, szczególnie w okresach szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną. To z kolei przekłada się na obniżenie bezpieczeństwa energetycznego, jak również na rosnące ryzyko wystąpienia awarii katastrofalnej w systemie elektroenergetycznym.

Wymagane zobowiązanie obniżenia udziału paliw kopalnych jest rzeczywistym wyzwaniem dla gospodarki globalnej. Dodatkowo na chwilę obecną wymagana jest dywersyfikacja źródeł dostaw, szczególnie po rozpoczętej w lutym 2022 r. przez Federację Rosyjską wojny w Ukrainie. Wojna w Ukrainie przyczyniła się do przyspieszenia procesów politycznych mających na celu zmniejszenie zależności od importowanych paliw kopalnych z Rosji. Dodatkowo

nową aktualność zyskują podejścia teoretyczne wskazujące na konieczność zarządzania ryzykiem, szczególnie geopolitycznym oraz cybernetycznym.

Zwiększanie bezpieczeństwa energetycznego można również osiągnąć przez dywersyfikację struktury wytwórczej, osiągając minimalizację zależności od importu paliw energetycznych z zagranicy. Przykładem rozwoju alternatywnych form produkcji energii mogą być odpowiednio zaprojektowane i zbudowane systemy energii wodorowej lub rozwój małych, modułowych reaktorów jądrowych SMR (ang. small modular reactor).

Wodorowy system energetyczny ma największy potencjał, by stać się systemem energetycznym przyszłości, stwarzając jednocześnie w pewnym stopniu możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury przesyłowej gazu ziemnego.

Wprowadzenie SMR w Polsce przyczyni się do uzyskania stabilnego źródła energii umożliwiającego rozwój energetyki rozproszonej, umożliwiając wykorzystanie go jako retrofita bloków węglowych.

Technologia magazynowania energii może rozwiązać problemy z niestabilnymi formami energii w postaci energetyki odnawialnej. Oznacza to, że fundamentalną rolę w tym procesie odgrywać będą państwa posiadające największy potencjał nadprodukcji energii elektrycznej z energetyki odnawialnej z jednoczesnym jej magazynowaniem.

W planach wykorzystania OZE w Polsce nie można również pominąć systemów HVDC wyprowadzenia mocy z morskich farm wiatrowych.

Wymienione czynniki komplikują dotychczasowe plany odbudowy zdolności wytwórczych po awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego. Bardzo słuszną jest zatem teza recenzowanej pracy doktorskiej wskazująca na konieczność aktualizacji tych planów oraz opracowania strategii przy minimalizacji czasu procesu odbudowy i ryzyka z nim związanego.

Podjęty przez Autorkę temat należy zatem uznać za bardzo ważny szczególnie że wyniki przedstawione w pracy mogą stanowić podstawę do weryfikacji i aktualizacji planów zapobiegania awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego.

4. Ocena merytoryczna pracy

4.1. Ocena wyników analizy

Czytając przedmiotową pracę należy zauważyć dużą znajomość i dbałość o opis podstaw teoretycznych zagadnienia bezpieczeństwa energetycznego w kontekście zmieniającego się

potencjału wytwórczego w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym i możliwych awarii katastrofalnych.

Praca jest bardzo obszerna ale opisująca przeprowadzoną analizę w przyswajalny dla czytelnika sposób. Przegląd literatury omówiony został w osobnym rozdziale w oryginalny autorski sposób, grupując publikacje według poruszanych w nich zagadnień badawczych. Moim zdaniem analiza statystyczna wraz z wnioskami płynącymi z historii wcześniejszych awarii stanowi cenne osiągnięcie autorskie.

Autorka przeprowadziła badania symulacyjne zdolności źródeł do uczestnictwa w planach odbudowy zdolności wytwórczych po awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego. Szczególnie cenne jest utworzenie własnego modelu weryfikacyjnego, w którym zestawiono wyniki symulacji toru rozruchowego zamodelowanego w programie DIGSILENT PowerFactory z wynikami rzeczywistej próby systemowej uruchomienia konwencjonalnego bloku elektrowni. Wyniki badań wykazały dużą zbieżność modelu symulacyjnego z wynikami rzeczywistej próby systemowej. Przedmiotem głównych badań było pięć scenariuszy odbudowy, które przeanalizowano w zakresie uruchamiania odbiorów dynamicznych.

Proponowane scenariusze w zakresie uczestnictwa różnego typu źródeł wytwórczych w procesie odbudowy wraz z przykładami prób systemowych, proponowanych do realizacji w KSE stanowią istotny wymiar praktyczny niniejszej rozprawy. Warty podkreślenia są dokonane przez Autorkę badania symulacyjne procesów odbudowy zdolności wytwórczych, w szczególności w oparciu o działające elektrownie wodne.

Wyniki symulacji porównano z punktu widzenia zmian napięcia, zmian częstotliwości oraz minimalnego czasu stabilizacji parametrów w tworzonym układzie wydzielonym.

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych oraz wniosków z rzeczywistych prób systemowych przeprowadzono jakościową oraz ilościową ocenę ryzyka dla procesu odbudowy. Uzyskane przez Autorkę efekty pracy wskazują, że jakościowa ocena ryzyka prowadzona metodą muchy (*bow-tie*) stanowi ważne narzędzie analityczne, pozwalające określić zagrożenia dla procesu odbudowy i powiązane z nimi konsekwencje w postaci nieskutecznego procesu odbudowy systemu elektroenergetycznego. Ilościową analizę ryzyka, przeprowadzono opierając się na wielokryterialnej metodzie hierarchicznej analizy problemów decyzyjnych AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*) oraz rozmytej metodzie FAHP (ang. *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*).

4.2. Pytania uzupełniające do Autorki

Proszę o wyrażenie swojego stanowiska w następujących kwestiach:

- Dokonany w rozprawie przegląd najważniejszych światowych awarii katastrofalnych stanowi cenny materiał statystyczny. W tej sytuacji jak wytłumaczyć brak odniesienia się do potencjalnych zagrożeń awariami katastrofalnymi w KSE związanymi ze zdarzeniami awaryjnymi, tj. 2 awarie w elektrowni Bełchatów oraz wydzielenie się obszaru Północno Wschodniej Polski?
- W rozprawie zostały zaprezentowane możliwości odbudowy KSE w oparciu o część przesyłową krajowego systemu elektroenergetycznego. Czy zdaniem Autorki rozprawy możliwe jest wykorzystanie innych części KSE (sieć SN i nN) do odbudowy funkcjonalności systemu elektroenergetycznego w świetle coraz większego udziału generacji rozproszonej zlokalizowanej w sieciach innych niż przesyłowa lub wysokich napięć?
- Wydaje się, że pewnym cennym uzupełnieniem scenariuszy odbudowy KSE byłoby przedstawienie procedur związanych z wymogami UE, które polska energetyka przeprowadziła w celu mitygacji ryzyka wystąpienia „blackout-u”, wykazując tym samym pełną zdolność do przyłączenia się KSE do UCPTE. Czy Autorka rozprawy brała pod uwagę poruszenie tego aspektu w swojej pracy?
- Zdaniem Autorki rozprawy, które z przedstawionych scenariuszy można zastosować w przypadkach konieczności odbudowy funkcjonalności energetycznych obszarów podlegających Jednostkom Samorządu Terytorialnego, np. gmin?
- Czy w świetle przedstawionych przez Autorkę rozprawy scenariuszy można również spodziewać się zmiany ról przypisanych obecnie do poszczególnych stopni hierarchii dyspozytorskiej, np. związanych z tworzącymi się lokalnymi obszarami bilansowania? Co musiałoby się wydarzyć, aby takie zmiany w zakresie kompetencyjnym służb dyspozytorskich mogły zaistnieć?

Pytania szczegółowe, mają charakter uzupełniający i nie wpływają na moją ocenę recenzowanej rozprawy, która jest bardzo wysoka. (Będę wnioskować o wyróżnienie rozprawy doktorskiej).

5. Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne podejście do rozwiązania aktualnego i bardzo ważnego problemu naukowego.

Sposób przeprowadzonych badań wskazuje, że pani **Daria Złotecka** posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora oraz Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016 r. poz. 882 i 1311).

Wnioskuje o dopuszczenie rozprawy doktorskiej pani **Darii Złoteckiej** do publicznej obrony.

