



Lublin, 28.07.2023 r.

**dr hab. inż. Paweł Pijarski, prof. uczelni**

[p.pijarski@pollub.pl](mailto:p.pijarski@pollub.pl)

tel. 604 499 166

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

mgr inż. Darii Złoteckiej

### **„Odbudowa zdolności wytwórczych elektrowni po awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego”**

Promotor: prof. dr hab. inż. Aleksandra Rakowska

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 20.06.2023 r. oraz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej Pana prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego z dnia 23.06.2023 r.

## **1 Wybór tematu rozprawy doktorskiej oraz informacja o jej praktycznym znaczeniu**

Tematyka dotycząca odbudowy zdolności wytwórczych elektrowni po awarii katastrofalnej jest niezwykle istotna i aktualna we współczesnych systemach elektroenergetycznych. Obecnie, przyłączane są do sieci elektroenergetycznej źródła OZE różnego typu o losowej generacji, magazyny energii, pracujące w trybie ładowania lub rozładowania oraz odbiorcy o różnej specyfice pracy. Sieć jest rozbudowywana i modernizowana. Wycofywane są niektóre bloki elektrowni konwencjonalnych, a planowane są do przyłączenia nowe. Przyczynia się to do występowania w praktyce różnego rodzaju stanów pracy sieci. Pojawienie się w systemie elektroenergetycznym znacznej liczby obiektów o losowym charakterze generacji utrudnia proces planowania i sterowania pracą SEE, a także wpływa na niezawodność jego pracy. W konsekwencji następuje zmiana i zróżnicowanie jednostek wytwórczych, które mogą aktywnie uczestniczyć w procesach odbudowy zdolności wytwórczych SEE w przypadku wystąpienia rozległej awarii. Obserwowane w rzeczywistości problemy bilansowe, np. w okresach nocnych dolin obciążenia (przy stosunkowo dużej sumarycznej generacji w farmach

wiatrowych), sprawiają operatorom niemałe kłopoty z opanowaniem takich sytuacji. W dziennych stanach pracy, przy znacznej generacji również w farmach fotowoltaicznych, oprócz problemów bilansowych, obserwuje się także przekroczenia napięciowe (głównie w sieciach nN i SN) oraz przepływy mocy z sieci nN i SN w kierunku sieci WN. Przy badaniu wpływu nowych, planowanych do przyłączenia źródeł, magazynów energii lub odbiorów szczególny problem stanowią natomiast przekroczenia dopuszczalnych obciążalności prądowych linii napowietrznych. Kolejne trudności wynikają z możliwości wystąpienia stanów awaryjnych. Dodatkowo, zmieniający się klimat i nasilające się niekorzystne zjawiska pogodowe mogą prowadzić do różnego rodzaju zakłóceń w pracy sieci elektroenergetycznych. Widmo awarii w KSE, takich jak np. z kwietnia 2008 r., staje się zatem realne i należy temu przeciwdziałać poprzez odpowiednie środki zapobiegawcze oraz minimalizację skutków wystąpienia zakłóceń. Ważna jest zatem niezawodność i bezpieczeństwo pracy systemu elektroenergetycznego.

Dynamiczny rozwój energetyki odnawialnej, planowane do przyłączenia zasobniki energii, inwestycje w pompy ciepła, wzrost liczby samochodów elektrycznych, będą wpływały na bilans mocy i energii w SEE. Zarówno chwilowe zbilansowanie mocy generacji i odbioru jak też bilansowanie odniesione do energii (np. w okresie roku) wymaga zapewnienia możliwości magazynowania o zdolnościach wielokrotnie większych niż spotykane obecnie. Alternatywnymi sposobami opanowania rozbieżności pomiędzy okresami występowania wysokiej generacji i wysokiego poboru to rozwinięta współpraca międzynarodowa oraz sterowanie mocą odbiorów poprzez mechanizm DSR. Tym samym odpowiednia elastyczność pracy sieci powinna być zapewniona. Wzrost udziału źródeł OZE (o dużej zmienności i nieprzewidywalności) w ogólnym bilansie mocy na rzecz zmniejszania się udziału jednostek konwencjonalnych (stabilnych), pracujących w podstawie obciążenia, przekłada się na obniżenie bezpieczeństwa energetycznego, a tym samym większe ryzyko wystąpienia rozległej awarii. Konieczne jest zatem nieustanne poszukiwanie nowych strategii, które pozwolą operatorom na przygotowanie się do takich sytuacji i zminimalizowanie skutków zaistnienia ewentualnego zagrożenia. Ważne jest także opracowywanie i ciągła aktualizacja planów obrony i odbudowy SEE w celu przywrócenia zasilania i powrotu do stanu normalnego po wystąpieniu awarii. W literaturze można znaleźć opisy wielu awarii katastrofalnych, które miały miejsce w różnych częściach świata. Doktorantka przytoczyła własny ich obszerny spis. Świadczy to o tym, że podjęta tematyka jest aktualna. Takie sytuacje mają miejsce w rzeczywistości i należy się nimi zajmować. Dotychczas nie wynaleziono jednak uniwersalnej metodyki, umożliwiającej przewidzenie awarii z dużym prawdopodobieństwem a następnie jej uniknięcie. Stosunkowo słabo rozpoznany jest również obszar związany z określaniem ryzyka dotyczącego procesów odbudowy zdolności wytwórczych. W związku z tym warto poszukiwać nowych strategii i kierunków rozwoju planów odbudowy zdolności

wytwórczych, które będą skuteczniejsze od już istniejących. Zaproponowany w recenzowanej rozprawie model oceny ryzyka dla różnych scenariuszy odbudowy zdolności wytwórczych źródeł po zaistniałej awarii systemowej wpisuje się w niniejszy trend usprawniając dotychczas stosowane podejścia. Pozwala m.in. inaczej spojrzeć na problematykę rozległych awarii oraz przywracanie systemu do stanu pracy normalnej. Stanowi autorskie podejście związane z rozpatrywaną tematyką w zakresie wyboru odpowiedniego rozwiązania. Dysponując takim narzędziem operator sieci będzie mógł sprawniej i skuteczniej oceniać ryzyko zastosowania różnych scenariuszy odbudowy a tym samym minimalizować czas procesu odbudowy.

Biorąc powyższe pod uwagę uznaję tematykę rozprawy za ważną, aktualną oraz wybraną prawidłowo, zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym.

## **2 Ocena układu rozprawy doktorskiej wraz z jej częściami składowymi**

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 192 strony tekstu wraz z ilustracjami, wzorami oraz bibliografią obejmującą 186 pozycji. Dodatkowo w rozprawie zawarte zostało streszczenie w języku polskim i angielskim, a także wykaz symboli i skrótów oraz załącznik.

Rozprawa została podzielona na 8 rozdziałów. Część główna (badawcza) składa się z dwóch rozdziałów (6, 7). Pozostałe rozdziały zawierają: motywację, cel, tezę i zakres pracy (rozdział 1), trzy rozdziały teoretyczne (2, 4, i 5), jeden rozdział zawierający wykaz i opis wybranych awarii katastrofalnych na świecie oraz własną, autorską ich analizę statystyczną (rozdział 3), a także podsumowanie i wnioski (rozdział 8).

Tak jak wspomniano wcześniej, rozprawę rozpoczyna streszczenie i rozdział 1, stanowiący wstęp. Nakreślono w nim motywację, cel, tezę, zakres pracy oraz ogólną zasadność podjęcia rozpatrywanego zagadnienia.

Rozdział drugi zawiera opis przewidywanych w przyszłości zmian w strukturze wytwarzania w KSE. Autorka przedstawia również konsekwencje tych działań w aspekcie bezpieczeństwa pracy systemu w różnych stanach.

W rozdziale trzecim Doktorantka omawia problem rozległych awarii w systemach elektroenergetycznych. Wykonana została również autorska analiza statystyczna największych awarii katastrofalnych w systemach elektroenergetycznych na całym świecie. Warto zauważyć, że analiza ta ujmuje przyczyny awarii, ich zasięg, sezonowość występowania, strukturę lokalizacyjną oraz czas odbudowy zasilania. Zamieszczone zostały również odpowiednie wnioski i komentarze.

Rozdział czwarty zawiera przegląd i opis stosowanych strategii odbudowy zdolności wytwórczych. Opisane zostały także wymagania techniczne dla jednostek wytwórczych, w zakresie ich uczestnictwa w procesie odbudowy wraz z przykładami prób systemowych przeprowadzonych w KSE. Zwrócono uwagę na wpływ transformacji SEE na plany odbudowy.

Rozdział piąty dotyczy badań literaturowych w następujących obszarach:

- strategii obrony SEE na wypadek awarii katastrofalnej,
- aktualnych strategii odbudowy zdolności wytwórczych,
- nowych propozycji strategii obrony i odbudowy z wykorzystaniem źródeł OZE oraz magazynów energii,
- zarządzania ryzykiem.

Główną część badawczą rozprawy rozpoczyna rozdział 6, w którym przedstawiono metodologię oraz wyniki symulacji dla rozpatrywanych scenariuszy odbudowy zdolności wytwórczych, przeprowadzonych w środowisku programu PowerFactory. Poszczególne scenariusze zróżnicowane były pod kątem typu źródła rozruchowego, długości toru rozruchowego oraz typu źródła uruchamianego. Badania ujmowały zarówno aktualne strategie odbudowy jak i nowe, wykorzystujące wybrane źródła OZE, współpracujące z magazynami energii. Stworzony został również model weryfikacyjny uruchomienia bloku Elektrowni Turów z Elektrowni Wodnej Dychów, w celu porównania wyników symulacji z wynikami rzeczywistej próby systemowej.

Rozdział siódmy zawiera analizy odbudowy zdolności wytwórczych elektrowni w kontekście ryzyka. Przedstawiono zarówno jakościową jak i ilościową ocenę ryzyka procesu odbudowy. Do wykonania analizy jakościowej zastosowano metodę muchy, natomiast do analizy ilościowej – wielokryterialną, hierarchiczną metodę AHP oraz jej rozwiniętą wersję rozmytą, metodę FAHP.

Ostatni rozdział rozprawy to podsumowanie i wnioski. Wnioski rzeczywiście stanowią podsumowanie tego, co jest najbardziej istotne w treści rozprawy. Nie zabrakło tutaj stwierdzenia o słuszności postawionej na początku tezy oraz o tym, że podjęta tematyka badawcza jest aktualna. Autorka wskazała także te elementy rozprawy, które uważa za wkład własny w rozwój reprezentowanej dyscypliny naukowej.

Doktorantka zawarła również kilkudzianową informację na temat możliwości prowadzenia dalszych badań. W mojej ocenie ta część mogłaby zostać rozbudowana. Dyskusja na temat kierunku przyszłych badań powinna być bardziej szczegółowo przeprowadzona.

Moja ogólna ocena rozprawy, jej struktury oraz merytorycznej zawartości jest pozytywna.

### **3 Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej**

Tak jak wspomniano wcześniej, bibliografia zawiera 186 pozycji. Liczba cytowanych prac jest wystarczająca co świadczy o właściwym przeglądzie literatury.

Przeгляд literatury obejmuje pozycje poruszające zagadnienia związane głównie z awariami w systemach elektroenergetycznych, obroną i odbudową systemu po awarii, a także zarządzaniem

ryzykiem. Doktorantka cytuje również ustawy, rozporządzenia oraz dokumenty OSP dotyczące rozpatrywanej tematyki.

Wykaz cytowanych prac jest odpowiedni zarówno pod względem liczbowym jak i tematycznym. Literatura swoim zasięgiem obejmuje prace krajowe i zagraniczne, zatem w zupełności spełnia wymogi stawiane zwyczajowo rozprawom doktorskim. Przegląd literatury został przeprowadzony rzetelnie. Najstarsza pozycja w wykazie literatury datowana jest na rok 1981, najnowsza natomiast pochodzi z roku 2023, co świadczy o bieżącym stanie wiedzy Doktorantki na temat rozpatrywanej tematyki. Trzynastcie pozycje literaturowych powstało przy udziale Autorki rozprawy.

#### **4 Ocena celu i tezy rozprawy doktorskiej**

Cel, teza i zakres pracy zostały przez Doktorantkę przedstawione w rozdziale 1. Celem pracy 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”*.

Uważam, że ogólnie cel został sformułowany jasno i przejrzysto.

Teza rozprawy brzmi następująco: *„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”*.

Sposób sformułowania tezy uważam ogólnie za prawidłowy.

Zaznaczam jednak, że w moim przekonaniu proponowana metodyka powinna być uniwersalna oraz sprawdzać się w każdym systemie i według mnie tak jest i w tym przypadku. W związku z tym, w tezie oraz w celu pracy powinno się unikać nazwy konkretnego systemu. Oczywiście analizy, czy też weryfikacja wyników obliczeń może się odbywać na danych konkretnego systemu (np. KSE), nie mniej jednak samo sformułowanie tezy, uważam, powinno być bardziej ogólne i raczej pozbawione treści, świadczących o dedykowaniu proponowanej metodyki tylko do konkretnego zastosowania.

Zakres pracy został przedstawiony przez Doktorantkę w rozdziale 1 w formie kilkudziesięciu opisów poszczególnych rozdziałów, które ogólnie streszczają tematykę rozprawy. Moim zdaniem zakres pracy lepiej oddaje wyszczególnienie konkretnych działań, które zostały podjęte i wykonane w ramach rozprawy, a także przedstawienie tego jaki zasięg tematyczny ona obejmuje. Nie mniej jednak z opisu zawartego w rozprawie można się dopatrzeć i zorientować jaki obszar badań jest wzięty pod uwagę.

## **5 Ocena zastosowanych metod badawczych**

Wykaz metod stosowanych w literaturze znajduje się w podrozdziale 5.4. Wybór metod badawczych opisany został w rozdziale 7. Do jakościowej oceny ryzyka procesu odbudowy zdolności wytwórczych wybrana została metoda muchy. Stanowi ona graficzne połączenie przyczyn i konsekwencji wystąpienia zdarzeń niepożądanych wraz ze wskazaniem barier ograniczających ryzyko ich następstw. Ilościowa ocena ryzyka procesu odbudowy zdolności wytwórczych została wykonana przy wykorzystaniu metody analitycznego procesu hierarchicznego (AHP) oraz będącej jej rozwinięciem w postaci metody rozmytej AHP, czyli FAHP.

Uważam, że wybór metod badawczych jest prawidłowy. W tekście pracy Autorka uzasadnia go tym, że wskazane metody są uniwersalne a zgodność macierzy porównań możliwa do weryfikacji. Ponadto w tabeli 5.5 można znaleźć porównanie różnych metod oceny ryzyka na podstawie dostępnej literatury.

## **6 Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań**

Wyniki badań wykonanych przez Doktorantkę prezentowane są w dwóch rozdziałach (6 i 7). Dodatkowo w rozdziale trzecim, Autorka przedstawia własną analizę statystyczną największych, światowych awarii systemowych. Po każdej analizie Doktorantka wyciąga odpowiednie wnioski i umieszcza własne, przemyślane komentarze i spostrzeżenia. Poniżej przytaczam przykłady rozdziałów, w których omawiane są wyniki obliczeń.

Rozdział szósty dotyczy metodologii i wyników analiz wykonanych na modelach rozpatrywanych pięciu scenariuszy odbudowy, a także modelu weryfikacyjnym, przygotowanym w celu porównania wyników symulacji z wynikami rzeczywistej próby systemowej. Autorka omawia te analizy w kolejnych podrozdziałach i wyciąga odpowiednie wnioski. Osobny podrozdział poświęcony jest również analizie porównawczej dotyczącej poszczególnych scenariuszy. Komentarze i opis są spójne i zrozumiałe.

W rozdziale siódmym przedstawione są wyniki analiz dotyczące jakościowej i ilościowej oceny ryzyka procesu odbudowy zdolności wytwórczych elektrowni. Komentarzem opatrzone zostały zarówno zastosowane metody jak i uzyskane wyniki obliczeń. W osobnych dwóch podrozdziałach zawarto szczegółowe wnioski, wynikające z przeprowadzonych analiz. W przypadku oceny jakościowej, określona została lista zagrożeń, mogących wpływać na proces odbudowy wraz z barierami ograniczającymi ryzyko ich następstw. Przy analizie ilościowej położono nacisk zarówno na porównanie otrzymanych wyników symulacji dla różnych scenariuszy odbudowy, jak i na wpływ dwóch zastosowanych metod obliczeniowych.

Można jeszcze zwrócić uwagę na rozdział trzeci, zawierający własną analizę statystyczną, dotyczącą 180 największych awarii systemowych na świecie, wykonaną przez Doktorantkę w oparciu o dostępną literaturę. Znajdują się w nim wnioski i spostrzeżenia poparte odpowiednimi komentarzami, wynikającymi z wykonanej analizy, ujmującej awarie z punktu widzenia różnych aspektów.

Reasumując, stwierdzam, że sposób omawiania wyników obliczeń, forma ich prezentacji oraz trafność i celność spostrzeżeń są na odpowiednim poziomie. Zawarte w pracy wnioski, uwagi i komentarze własne Doktorantki nie są zdawkowe tylko w większości szczegółowe. Autorka popiera je odpowiednimi, właściwymi i w większości przekonującymi argumentami, o czym świadczy odpowiedni poziom merytoryczny oraz wiedza Autorki w zakresie rozpatrywanej tematyki.

Moja ogólna ocena rozprawy doktorskiej w tym zakresie jest pozytywna.

## 7 Uwagi szczegółowe i krytyczne

### 7.1 Uwagi o charakterze redakcyjnym

W rozprawie można dopatrzeć się pewnych błędów redakcyjnych oraz tzw. literówek. Poniżej przytaczam kilka przykładów:

Nr strony	Lokalizacja	Uwagi
12	11 wiersz od dołu strony	„...celem planu <b>obudowy</b> jest <b>przywrócenia</b> zasilania...” – powinno być: „...celem planu <b>odbudowy</b> jest <b>przywrócenie</b> zasilania...”
13	10 i 4 wiersz od dołu strony	„...-podanie napięcia na część danego OSP...” – powinno być raczej, np.: „...podanie napięcia na część wydzielonego/rozpatrywanego obszaru danego OSP...”
39	Drugi wiersz pod punktem 3.2	„Na potrzeby analizy <b>statycznej</b> ...” – powinno być: „Na potrzeby analizy <b>statystycznej</b> ...”
53	Pierwszy punkt (1) pod tabelą	wytypowanie źródeł <b>rozruchowym</b> ...” – powinno być: 1) wytypowanie źródeł <b>rozruchowych</b> ...”
61	Pierwszy odnośnik po cytowanej literaturze	„...ze względu na <b>znacznie</b> wydłużenie...” – powinno być: „...ze względu na <b>znaczne</b> wydłużenie ...”
153	12 wiersz od dołu strony	„...źródeł <b>wytwórczej</b> ...” – powinno być: „...źródeł <b>wytwórczych</b> ...”

#### Uwagi redakcyjne o charakterze ogólnym:

- Rozmiar czcionki na niektórych rysunkach mógłby być większy, np. Rysunek 6.5, Rysunek 6.7.
- W kilku miejscach Autorka cytuje stosunkowo dużą liczbę prac jednocześnie i cały wiersz lub więcej zajmują cytowania, np. str. 61 (17 pozycji literatury), str. 72 (19 pozycji), str. 94-95 (21 pozycji), itp. Moim zdaniem należałoby pogrupować tę literaturę tematycznie i opatrzyć ją kilkoma zdaniami opisu dodatkowego (uzupełniającego). W tej wersji, na pierwszy rzut oka, można odnieść wrażenie jakby Autorka chciała w jednym miejscu „nadrobić” bibliografię.

Wskazana literatura jest oczywiście powiązana z fragmentem tekstu, przy którym występuje, niemniej jednak krótki opis powinien zostać dodany.

- Przy wypunktowaniach, na końcu zdań czasami stosowane są średniki (np. str. 90-91), czasami przecinki (np. str. 95), a czasami jest ich brak (np. str. 69). Warto byłoby ujednoczyć ten zapis.
- Indeksy, przy wielkościach niebędących zmiennymi powinny być pisane antykwą podczas gdy czasami są pisane kursywą, np. Tabela 6.1, 6.8, 6.10, 6.12:  $U_{nGN}$ ,  $U_{nDN}$ ,  $S_n$ . Niektóre wielkości nie są pisane kursywą, np.  $U_n$  w tabelach 6.14, 6.15,  $U_{G1}$ ,  $U_{G2}$ ,  $U_{BESS}$ ,  $U_{GN}$  w tabeli 6.17.
- Numeracja wzorów powinna być dostosowana do numeru rozdziału, np. str. 155 zamiast (3), (4), (5) powinno być raczej (7.1), (7.2), (7.3), itd.
- Na końcu niektórych wzorów pojawiają się kropki, np. (3), (4), (5), a przy niektórych ich brakuje, np. (10), (14), (15), itd. Warto byłoby ujednoczyć zapis.
- W niektórych wzorach stosowany jest symbol mnożenia, np. (19), (25) a przy niektórych go brakuje, np. (1), (7), itd.
- Wzór (13) powtórzona zależność na wektor wag rozmytych  $\tilde{w}_i = (l_{wi}, m_{wi}, u_{wi})$ .

To są tylko przykładowe błędy redakcyjne. Pomimo powyższych uwag chcę podkreślić, że błędy redakcyjne nie mają istotnego wpływu na jakość merytoryczną rozprawy doktorskiej. Odbiór całej pracy jest pod tym względem pozytywny.

## 7.2 Uwagi i pytania o charakterze ogólnym i dyskusyjnym:

- W tabelach m. in. 6.1, 6.10, 6.12, A3 zawarte są parametry elementów w chodzących w skład toru rozruchowego. Podane zostały m.in. dane transformatorów oraz wartości jednostkowe rezystancji, reaktancji i susceptancji linii:
  - dla linii napowietrznej 220 kV podana rezystancja jednostkowa wynosi 0,1246  $\Omega$ /km. Jaki zatem przewód został przyjęty do obliczeń? Podobna wartość została przyjęta dla linii 110 kV (0,124  $\Omega$ /km) i na tym poziomie napięcia jest prawidłowa zakładając przewód o przekroju 240 mm<sup>2</sup>.
  - dla linii napowietrznej 220 kV podana reaktancja jednostkowa wynosi 0,9134  $\Omega$ /km. Jaki zatem przewód i konstrukcje wsporcze zostały przyjęte do obliczeń? Wartości średnie reaktancji jednostkowej typowych linii napowietrznych stosowanych w Polsce, zawierających jeden przewód na fazę wynoszą bowiem ok. 0,4  $\Omega$ /km, natomiast dla przewodów wiązkowych - ok. 0,3-0,32  $\Omega$ /km.
  - dla linii 110 kV, podana susceptancja jednostkowa wynosi 0,337  $\mu$ S/km, dla linii 220 kV – 1,339  $\mu$ S/km, dla linii 400 kV- 1,76  $\mu$ S/km. Ponieważ pojemność jednostkowa typowych linii napowietrznych WN i NN, wynosi średnio od ok. 2,7  $\mu$ S/km do ok. 3,5  $\mu$ S/km, powstaje zatem



pytanie: Jaki typ przewodów i konstrukcji wsporczych zastosowany został w pracy doktorskiej, w przypadku linii stanowiących tor rozruchowy?

- o w tabeli 6.10, wiersz numer 10, przedstawiono transformator 110/440 kV o mocy 60 MVA i górnym napięciu znamionowym, równym 380 kV. Jaki jest zakres zmian przekładni transformatora?

Zakładam, że w modelu obliczeniowym parametry poszczególnych elementów zostały przyjęte w sposób prawidłowy.

- Z przeprowadzonych analiz wynika, że wariant odbudowy zawierający źródło rozruchowe w postaci magazynu energii i elektrowni wiatrowej na lądzie (scenariusz S3) osiągnął najniższą ocenę wagową ze względu na ograniczony czas pracy i dyspozycyjność. Obecnie coraz więcej mówi się natomiast o tzw. instalacjach hybrydowych OZE w ramach danej infrastruktury sieciowej oraz wydanych warunków przyłączenia. Jak zdaniem Autorki, wpływa przyłączenie w jednym węźle kilku obiektów, np. dwóch źródeł odnawialnych o różnej technologii wytwarzania (farma wiatrowa, fotowoltaiczna) oraz dodatkowo magazynu energii na wyniki ryzyka procesu odbudowy? Czy zastosowanie takiego układu pozwoli na istotne zwiększenie jego dyspozycyjności?
- Nawiązując do poprzedniej uwagi, należy zaznaczyć, że prywatni inwestorzy są nieraz zainteresowani świadczeniem usług na rzecz Operatora w ramach różnego rodzaju działań. Jedną z takich usług systemowych może być usługa aktywnego uczestnictwa np. instalacji hybrydowych, współpracujących z magazynami energii w procesie odbudowy zdolności wytwórczych. Czy zdaniem Doktorantki byłoby możliwe wykorzystanie tego typu usług w ramach wyboru odpowiedniego scenariusza odbudowy, nawet gdyby nie był on optymalny, ale atrakcyjny z punktu widzenia dyspozycyjności i bliskości (źródło rozruchowe zlokalizowane w pobliżu) w stosunku do źródła uruchamianego?
- W scenariuszach uwzględniających bateryjne magazyny energii (S3 i S4) Doktorantka stwierdza, że dla przyjętych założeń proces odbudowy jest skuteczny, jeżeli moc magazynu jest większa od połowy mocy elektrowni wiatrowej. Powstaje zatem pytanie, czy taki warunek jest regułą? Czy można go uogólnić i stosować również w innych układach?
- W scenariuszach uwzględniających bateryjne magazyny energii (S3 i S4) zakładana jest regulacja napięcia za pomocą układów energoelektronicznych BESS. Jaki jest zakres tej regulacji? Jaki jest zakres regulacji mocy biernej?
- Na stronie 115, w wierszu 4 Autorka podaje wartość napięcia  $U_{R110/0}=0,773 \cdot U_n$ . Według Rys.6.9, wartość ta wynosi ok.  $0,74 \cdot U_n$ .

- W rozdziale 8, dotyczącym podsumowania i wniosków, Doktorantka wskazała ogólne kierunki dalszych badań. Dotyczą one głównie optymalizacji rozpatrywanych w pracy układów. Jak zdaniem Autorki wyglądałaby taka optymalizacja i jak miałyby być realizowana ? Jaka główna funkcja celu byłaby wzięta pod uwagę oraz ograniczenia?

W większości uwagi i pytania traktuję jako dyskusyjne oprócz uwag dotyczących parametrów poszczególnych elementów.

## **8 Uwagi końcowe, podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych**

Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce wymaga, aby rozprawa doktorska stanowiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Opiniowana rozprawa według mnie spełnia to wymaganie. Zgodnie z wymogami Ustawy Doktorantka, Pani mgr inż. Daria Złotecka, wykazała się odpowiednią wiedzą teoretyczną, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz umiejętnością prowadzenia badań i przedstawienia ich wyników.

Lista istotnych osiągnięć, które powinny być uznane za oryginalny dorobek Doktorantki zawiera następujące, najistotniejsze elementy:

- opracowanie modelu oceny ryzyka dla procesu odbudowy zdolności wytwórczych źródeł po zaistniałej awarii systemowej, w tym:
  - ocena jakościowa,
  - ocena ilościowa;
- opracowanie i analiza porównawcza scenariuszy odbudowy zdolności wytwórczych po awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego z uwzględnieniem zróżnicowanej struktury wytwarzania energii elektrycznej;
- zaproponowanie wielokryterialnej analizy metodami AHP i FAHP mającej na celu wybór scenariusza odbudowy obciążonego minimalnym ryzykiem niepowodzenia tego procesu.

Doktorantka w rozprawie zmierza konsekwentnie do realizacji jej celu i udowodnienia postawionej na wstępie tezy. Praca zawiera także wszystkie istotne elementy: cel i zakres pracy, tezę, przegląd aktualnego stanu wiedzy, sformułowanie problemu, jego rozwiązanie, prezentację wyników obliczeń i analiz, podsumowanie oraz wykaz literatury.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej ocenę stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Darii Złoteckiej spełnia warunki i wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz.U. z 2018 poz. 1668 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.