

Dr hab. inż. Maksymilian Przygodzki, prof. PŚ  
Politechnika Śląska w Gliwicach  
Katedra Elektroenergetyki i Sterowania Układów

Gliwice, 23.08.2021 r.

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Roberta RACZKOWSKIEGO pt.:  
*Zwiększenie udziału generacji wiatrowej w systemie elektroenergetycznym poprzez  
optymalizację pracy systemu magazynowania energii*

### 1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika prof. dr hab. inż. Tomasza Stareckiego z dnia 2.07.2021 r., dotyczące opracowania recenzji rozprawy doktorskiej.

### 2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Roberta Raczkowskiego pod tytułem „Zwiększenie udziału generacji wiatrowej w systemie elektroenergetycznym poprzez optymalizację pracy systemu magazynowania energii”.

Przedłożona rozprawa doktorska liczy łącznie 140 stron tekstu. W tej objętości wyróżniono 8 rozdziałów, bibliografię, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis skrótów i oznaczeń oraz załącznik.

### 3. Ocena aktualności tematyki rozprawy

Wzrost świadomości społecznej w zakresie pozyskiwania energii elektrycznej, sposobów jej przetwarzania oraz użytkowania wpływa na poszukiwanie nowych zasobów energii pierwotnej. Dodatkowo wzrost zainteresowania oddziaływaniami środowiskowymi, w tym wzrastającymi emisjami przy dużym zapotrzebowaniu na energię wymaga rozszerzenia zakresu technologii użytecznych źródeł energii o energetykę odnawialną. Te kierunki stały się udziałem wielu państw oraz wspólną wytyczną rozwoju nowego oblicza energetyki.

Z uwagi na przyjęte formalnie wytyczne, prowadzoną politykę oraz wsparcie biznesowe rozwój odnawialnych źródeł energii elektrycznej (OZE) wszedł do katalogu działań podejmowanych przez poszczególne ekipy rządowe oraz inwestorów. Zmiana zatem

paradygmatu systemu elektroenergetycznego wymaga prowadzenia badań i wsparcia również po stronie naukowej.

Nasylenie systemu elektroenergetycznego źródłami odnawialnymi o charakterystyce pracy często zależnej od podaży energii pierwotnej zmusza do poszukiwania nowych rozwiązań stabilizujących bilans energii elektrycznej dla potrzeb komfortu wykorzystania przez odbiorców końcowych. W grupie OZE w pierwszym rzędzie zaistniały masowo technologie wiatrowe. Rozwój lądowych i morskich farm wiatrowych stał się w ostatnich dekadach wyznacznikiem wykorzystania naturalnego potencjału wiatru do produkcji energii elektrycznej. Zmienność warunków wiatrowych przy bezpośrednim przetworzeniu energii kinetycznej na elektryczną wymaga wprowadzenia kolejnych rozwiązań, które pozwolą na rozkład w czasie dostępności produkcji chwilowej i zwiększą efektywności wykorzystania OZE.

Tematyka ta stała się przedmiotem rozprawy doktorskiej. Dobór tematu wpisuje się zatem w aktualne problemy zwiększenia efektywności wykorzystania OZE w systemach elektroenergetycznych. Zagadnienie to ma wymiar formalny, a wypracowane rozwiązania i wyciągnięte wnioski mogą stanowić ważny element wsparcia wprowadzanych rozwiązań. Magazynowanie energii elektrycznej dodatkowo ciągle stanowi pewną trudność, stąd właściwy dobór skali, technologii oraz rozlokowania magazynów może istotnie podnieść ekonomikę pracy systemu, przy zachowaniu atutów wykorzystania energii odnawialnej. Podjęta w rozprawie tematyka jest zatem aktualna i ma wymiar użytkowy w skali systemowej. Z uwagi na przedmiot rozważań, podejście analityczne i stosowane modele, treści rozprawy wpisują się w obszar zagadnień dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika.

#### **4. Ogólna charakterystyka rozprawy**

Przedmiotowa rozprawa doktorska w swoich treściach oddaje cztery elementy. Są to szeregowo: budowa modelu systemu, symulacje funkcjonowania, dobór magazynów energii oraz analiza wpływu na system elektroenergetyczny. Taka konstrukcja rozprawy ma w zamyśle sprzyjać wypełnieniu postawionego celu i przedstawić możliwości rozwiązania problemu, a także dowieść postawionej tezy.

Treści rozprawy doktorskiej podzielono na 8 głównych rozdziałów (plus wyróżniony rozdział pierwszy zawierający spis skrótów i oznaczeń).

Rozdział numeratywnie drugi zawiera wprowadzenie do treści rozprawy. W tym rozdziale Doktorant przedstawił trwającą transformację w sektorze elektroenergetycznym prowadzącą do zwiększenia udziału OZE. Wraz z tym kierunkiem rozwoju przedstawiona została zwięźle problematyka funkcjonowania systemu nasyconego funkcjonującymi OZE. Jako jeden ze środków zaradczych wskazane i opisane zostały układy magazynowania określone w całości rozprawy jako systemy magazynowania energii elektrycznej (SMEE). Treści te zostały oparte na studium literaturowym. W rozdziale tym podano również cel i tezę pracy oraz nakreślono przyjętą metodykę badań.

W rozdziale trzecim Doktorant przedstawił model techniczno-ekonomiczny systemu elektroenergetycznego o charakterze miedzianej płyty, który został opracowany dla przeprowadzenia przedmiotowych dla rozprawy analiz. Model został przygotowany dla odwzorowania ustalonych procesów bilansowania systemu elektroenergetycznego w odcinkach jednogodzinnych. Horyzont czasowy modelowania przyjęto w wymiarze jednej dekady. W modelu w sposób szczególnie odwzorowano uwarunkowania rynkowe

funkcjonowania systemu wyróżniając podsystem wytwórczy i przyjmując prognozę zapotrzebowania. Rozdział zawiera szczegóły przyjętych założeń odnosząc się zarówno do struktury źródeł, ich odwzorowania, jak i sposobu pracy, w tym wykorzystania przyjętych uwarunkowań rynkowych. Model został opracowany pod kątem wykorzystania w narzędziu PLEXOS firmy Energy Exemplar.

W kolejnym rozdziale przedstawiony został model podsystemu przesyłowego, którego wprowadzenie pozwala na zmianę charakteru całości modelu systemu z miedzianej płyty na węzłowy. Jako model podsystemu przesyłowego wykorzystano układ testowy IEEE118. Układ ten został zmodyfikowany, kierując się uwarunkowaniami charakterystycznymi dla krajowego systemu elektroenergetycznego (KSE). W modelu odwzorowano również wymianę międzysystemową nakładając możliwość wystąpienia przepływów kołowych, typowych dla pracy równoległej połączonych synchronicznie systemów elektroenergetycznych.

W rozdziale piątym opisane zostało zadanie optymalizacyjne zaimplementowane w programie PLEXOS a pozwalające na uzyskanie optymalnego rozplywu mocy (OPF) przy spełnieniu zadanych ograniczeń systemowych. Wykorzystując zadanie OPF Doktorant przeprowadził analizę bilansową dla warunków miedzianej płyty oraz węzłowych. W rozdziale zaprezentowane zostały wybrane wyniki przeprowadzonych analiz oraz ich porównanie. Doktorant analizując uzyskane wyniki przedstawił również krótką dyskusję nad kształtowaniem się w długim horyzoncie czasu średnich krótkookresowych cen energii, wskazując tendencję względnego spadku tych wielkości wraz ze wzrostem udziału OZE.

Rozdział szósty poświęcony został problemowi modelowania SMEE. Modelowanie magazynów energii wymagało doboru, stosownie do relacji popytowo-podażowej, parametrów w postaci mocy oraz pojemności (zgrupowanej energii). Realizując to zadanie zastosowano iteracyjne podejście oparte na minimalizacji kosztów operacyjnych zamodelowanego systemu elektroenergetycznego. W ramach zadania dotrzymywano bilansów węzłowych, co pozwoliło na rozmieszczenie magazynów energii w węzłach o niezachowanej równowadze popytowo-podażowej. Wyniki przeprowadzonych analiz zostały poddane dyskusji zarówno w wymiarze horyzontu analizy, jak i uwarunkowań rozwojowych. W szczególności przeprowadzona została ocena wyników doboru SMEE przez pryzmat wybranych parametrów pracy.

W rozdziale siódmym przeanalizowano ocenę pracy SMEE na tle wybranych parametrów pracy systemu elektroenergetycznego. W pierwszym rzędzie przedstawiono profil pracy SMEE oraz jego zmianę wraz z kolejnymi latami analizy. W dalszej części przeanalizowano oddziaływanie pracy SMEE w szczególności na: zapotrzebowanie, generację jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych (JWCD), generację OZE oraz ekonomikę podejmowanych inwestycji w magazyny. W analizach Doktorant wykorzystał różne miary statystyczne, co pozwoliło na sformułowanie wniosków stosownych względem wyników.

Rozdział ósmy zawiera wnioski wyprowadzone na podstawie dyskusji uzyskanych wyników analiz. Wnioski te zostały podzielone na obszary badań wykorzystania SMEE w odniesieniu do możliwości zbilansowania systemu elektroenergetycznego, parametrów (mocy i pojemności) magazynów, sposobu wykorzystania tych magazynów, kształtowania profilu zapotrzebowania (netto), pracy JWCD, generacji OZE, ukształtowania cen energii i opłacalności inwestycji w magazyny energii.

Treści rozprawy zamyka rozdział dziewiąty, który ma charakter ogólnego podsumowania prezentowanych problemów i tła ich występowania. Rozdział zawiera również wnioski Doktoranta odnoszące się do własnego zaangażowania. W rozdziale tym Doktorant wskazał

także dalsze kierunki badań, których podjęcie może dać interesujące potencjalne zastosowania, w szczególności wiążąc rozwój SMEE z rozwojem infrastruktury sieciowej.

Do rozprawy należy również rozdział zatytułowany Literatura, który zawiera pozycje literaturowe przywołane w rozprawie. W rozdziale tym przytoczono łącznie 128 pozycji o różnym charakterze (artykuły i referaty, książki, monografie, opracowania, raporty, informacje prasowe).

Zgodnie z wytycznymi formalnymi rozprawę opatrzone streszczeniem w języku polskim i angielskim.

Przyjęta struktura rozprawy doktorskiej, w tym wyróżnione rozdziały jest związana z realizacją postawionego celu pracy oraz służy udowodnieniu sformułowanej tezy.

## **5. Ocena osiągnięć naukowych Autora rozprawy**

Podjęte przez Doktoranta i opisane w rozprawie badania skupiły się na wykorzystaniu modelu rynkowego i ocenie funkcjonowania systemu elektroenergetycznego po wprowadzeniu układów magazynowania energii. Zadanie to zostało nakreślone poprzez wyznaczony cel oraz postawioną tezę. Rozpoznanie, przedstawienie, metodyka podejścia, badania i wnioski zgodnie z literą rozprawy zmierzają do udowodnienia tej tezy w drodze naukowych rozważań.

Sformułowana przez Doktoranta teza orzeka o możliwości „opracowania algorytmu doboru mocy oraz pojemności bateryjnych magazynów energii, wykorzystującego optymalny rozptył mocy z uwzględnieniem kryteriów bezpieczeństwa, który dzięki wyznaczeniu optymalnego ekonomicznie profilu pracy magazynu energii przyczyni się do zwiększenia udziału generacji wiatrowej w systemie elektroenergetycznym przy jednoczesnym zachowaniu zdolności do bilansowania generacji z zapotrzebowaniem”. Teza ta wskazuje przedmiot badań, wykorzystane narzędzie oraz ograniczenia narzucone na prowadzone postępowanie. Dla udowodnienia tej tezy Doktorant przedstawił i podsumował każdy z wyróżnionych elementów. Ich ostateczne powiązanie wykazuje logiczną spójność i ma charakter wyводу naukowego.

Pierwszym elementem stał się model systemu elektroenergetycznego (SEE), który stał się obiektem badań. Model ten został przygotowany przez Doktoranta wraz z przyjęciem licznych założeń. Budowa modelu wymagała przeprowadzenia rozpoznania w zakresie stanu bieżącego oraz potencjalnych wytycznych, których uwzględnienie pozwala na oddanie przyszłych warunków pracy SEE. Model ten został opisany w rozdziałach 3 i 4 rozprawy przy wyróżnieniu charakteru: z pominięciem sieci (tzw. miedziana płyta) oraz z uwzględnieniem sieci (model węzłowy/sieciowy). Wykorzystanie tak sformułowanych modeli pozwala na ocenę efektów sieciowych w badaniach rozwoju systemu przesyłowego. W obu przypadkach możliwe jest wyznaczenie optymalnych profili pracy magazynów energii, a dodatkowo w przypadku modelu sieciowego możliwym staje się wykorzystanie zadania OPF poprzez nałożenie dodatkowych ograniczeń gałęziowych i zwiększenie wykorzystania sieci.

Przedstawiony przez Doktoranta opis przyjętych założeń jest ważnym elementem na drodze formułowania problemu rozprawy i wprowadza w część analityczną realizowanych badań.

Przygotowane dane zostały zaimplementowane w programie PLEXOS i dzięki wykorzystaniu algorytmów obliczeniowych tego narzędzia Doktorant przeprowadził analizy zbilansowania modelowanego SEE z pominięciem oraz przy uwzględnieniu sieci elektroenergetycznej. Uzyskane wyniki pozwalają na wnioskowanie w zakresie efektów

zwiększającego się wykorzystania OZE. W tym zakresie Doktorant po przeprowadzeniu symulacji przedstawił dyskusję wyników, a w szczególności przedstawił wnioski z oceny bilansowania systemu. Przeprowadzona dyskusja wskazuje, że Doktorant rozumie działanie zarówno modelu rynkowego, jak i elementów kształtujących uzyskiwane wskaźniki. Podane wyniki analityczne dokumentują umiejętność Doktoranta w zakresie interpretacji funkcjonowania SEE oraz wpływu badanych czynników na parametry i wskaźniki.

Wyniki symulacji przedstawione zostały w rozdziale 5.

Realizując cel rozprawy Doktorant zaproponował algorytm doboru parametrów SMEE w postaci mocy i pojemności tych zasobników. Dodatkowo wykorzystanie modelu sieciowego (węzłowego) pozwoliło na optymalizację rozmieszczenia magazynów. Wykorzystana funkcja OPF zaimplementowana w programie PLEXOS umożliwia lokalizację i dobór zasobników stosownie do potrzeb bilansowych, przy rozwiązaniu zadania z kosztową funkcją celu i zbiorem ograniczeń równościowych i nierównościowych opisujących pracę SEE. Uzyskując wyniki przeprowadzonych obliczeń Doktorant wykazał się umiejętnością ich prezentacji oraz interpretacji.

Opis algorytmu doboru parametrów SMEE, zrealizowanych analiz oraz interpretację wyników Doktorant przedstawił w rozdziale 6.

Ostatnim etapem przeprowadzonych przez Doktoranta badań są opisane w rozdziale 7 elementy analityczne wpływu SMEE na pracę SEE. W rozdziale tym Doktorant przedstawił interpretację uzyskanych wyników, a w szczególności analizę profilu pracy SMEE i jego zmiany związane ze wzrostem udziału OZE w bilansowaniu SEE oraz przeanalizował wyładzenie zapotrzebowania netto w SEE i możliwości prowadzenia pracy JWCD, a także OZE. Sformułowane wnioski stanowią ciekawe studium perspektywicznego spojrzenia na skalę wpływu SMEE na parametry i pracę SEE.

Dodatkowo Doktorant przeprowadził analizę ekonomiczną wyników uzyskiwanych w SEE oraz efektów wprowadzenia SMEE. W ramach tej analizy zinterpretowana została zmiana średnich cen energii w SEE wyznaczonych w modelu oraz wskaźniki efektywności ekonomicznej inwestycji w SMEE. Przeprowadzona dyskusja wyników świadczy o zrozumieniu i umiejętności oceny ekonomiki pracy SEE.

Przedstawione przez Doktoranta podejście metodyczne do przeprowadzonych badań oraz wyciągnięte wnioski pozwoliło na osiągnięcie celu pracy. Uzyskane wyniki potwierdzają możliwości doboru i przydatność wykorzystania magazynów energii w warunkach zwiększającego się udziału OZE w bilansowaniu SEE.

Na podstawie lektury tekstu rozprawy i zawartych w niej informacji można stwierdzić, że Doktorant wykazał się:

- wiedzą teoretyczną w zakresie funkcjonowania SEE i umiejętnością opisu relacji popytowo-podażowych w przygotowaniu analiz techniczno-ekonomicznych,
- wiedzą teoretyczną w zakresie technologii magazynowania energii oraz sposobu odwzorowania funkcjonowania SMEE w systemie, a także znajomością i umiejętnością posługiwania się parametrami układów magazynowania dla celu optymalizacji pracy SEE,
- umiejętnością posługiwania się narzędziami przygotowanymi do analiz techniczno-ekonomicznych SEE, w tym opracowania i zaimplementowania odpowiednich modeli wykorzystanych w badaniach,

- umiejętnością prezentacji i interpretacji uzyskiwanych wyników analiz, w tym wyciąganiem wniosków skupionych na przedmiotowych magazynach energii i warunkach ich pracy w SEE,
- wiedzą w zakresie rozwoju SEE zarówno w wymiarze wystarczalności generacji jak i wpływu sieci na uzyskiwane wyniki finansowe, a także umiejętnością posługiwania się i interpretacji wskaźników efektywności ekonomicznej inwestycji,
- umiejętnością zastosowania dostępnych metod i narzędzi analitycznych oraz metodyką pracy naukowej w ramach wnioskowania i dowodzenia naukowej tezy.

Powyższe uprawnia do stwierdzenia, że uzyskane przez Doktoranta wyniki wypełniają postawiony w rozprawie cel naukowy oraz pozwalają na dowiedzenie postawionej tezy.

## 6. Uwagi

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej sformułowałem kilka uwag. W ramach tych uwag chciałbym zasygnalizować kilka dyskusyjnych kwestii.

### 6.1. Uwagi ogólne

1. Tytuł rozprawy doktorskiej w brzmieniu „Zwiększenie udziału generacji wiatrowej w systemie elektroenergetycznym poprzez optymalizację pracy systemu magazynowania energii” oddaje treści rozprawy. Odnosząc się jednak do tytułu i zawartości nasuwają się dwa pytania. Pierwsze, dlaczego przyjęty model został uwarunkowany parametrami KSE, skoro tytuł nie ogranicza przykładu do polskiego systemu. Co więcej posługiwanie się powszechnymi modelami IEEE, w tym IEEE118 pozwala na porównywanie wyników z rezultatami uzyskanymi przez innych badaczy. Drugie pytanie, czy pojęcie „system” magazynowania nie wskazuje na rozwiązanie o charakterze uniwersalnym a jeśli tak, to jak należy taki układ postrzegać i prowadzić. W rozprawie przedstawiono rozproszone magazyny energii, pojawia się zatem pytanie o rozumienie „systemu magazynowania energii”.
2. W rozprawie został przedstawiony algorytm doboru mocy oraz pojemności magazynów energii. Można przyjąć, że ma on charakter uniwersalny, tj. można go zastosować do dowolnego układu. Należy zauważyć, że czynnikiem rekomendującym rozpatrzenie magazynu jest niezbilansowanie powstające w węźle modelu układu. Zastanawiające jest zatem odniesienie do tezy i tytułu pracy, gdzie mowa jest o „przyczynieniu się do zwiększenie udziału generacji wiatrowej”. Nasuwa się pytanie, czy magazyny o parametrach rekomendowanych przez algorytm mają umożliwić zwiększenie generacji wiatrowej, czy też są odpowiedzią na zadany poziom generacji? Dodatkowo zastanawia fakt, czy rozważenie warunków ekonomiki systemu w pierwszym rzędzie prowadziłyby do innych wyników niż te uzyskiwane na podstawie oceny niezbilansowania.
3. Przez rozprawę przewijają się kwestie rozbudowy systemu wynikające z prowadzenia nowych połączeń liniowych. Takie rozważania umożliwia rozpatrywany model sieciowy (węzłowy). Na tym tle można zauważyć zastępowalność łągodzenia warunków niezbilansowania poprzez alternatywę magazynu energii a nowe połączenie liniowe. W analizach prezentowanych w rozprawie rozgraniczono te kwestie przyjmując, że w latach 2020-2025 dobierane są SMEE, natomiast w latach 2026-2030 następuje rozwój linii. Czy zatem prowadzone rozważania nie tracą na atrakcyjności wnioskowania, w którym można

- byłoby porównać alternatywne modele oparte na zastępowalności, bądź uzupełnianiu się tych działań? W świetle takich rozważań interesujące byłyby wnioski w temacie wspólnych współzależności techniczno-ekonomicznych rzutujących na podejmowane decyzje planistyczne.
4. Rozwój źródeł odnawialnych jest elementem prowadzonej polityki energetycznej. Dla jej zobrazowania pojawia się pojęcie „miks energetyczny”. Zasadniczo pojęcie to odnosi się do pierwotnych nośników energii i ich struktury wykorzystania w różnych dziedzinach gospodarki. Przyjęto ograniczać rozumienie tego pojęcia do energii elektrycznej i źródeł tej energii. Z treści rozprawy wynika traktowanie miksu energetycznego jako struktury mocy zainstalowanej. Czy jednak, w szczególności rozpatrywania OZE, takie podejście nie jest zbyt mylne? Choćby dla rozpatrywanych źródeł wiatrowych skala mocy a produkcja, jej rozkład, są wielkościami stochastycznymi a zatem założenia co do struktury mocy nie oddają wprost wykorzystania zasobów energii pierwotnej.
  5. Biorąc pod uwagę różne technologie OZE, w tym wspomniany miks energetyczny, warto zauważyć, że znajduje to odbicie we wnioskach dotyczących budowy SMEE. Sposób działania, w tym wykorzystanie mocy zainstalowanej jest silnie uwarunkowane podażą energii pierwotnej i warunkami lokalnymi. Jak zatem można byłoby uogólnić uzyskiwane wnioski na tle struktury OZE, na co należałoby zwrócić uwagę odnosząc się do długofalowych inwestycji w SMEE w systemie elektroenergetycznym?
  6. Zadanie optymalizacji rozptywu mocy (OPF) pozwala na łagodzenie wpływu ograniczeń sieciowych na wykorzystanie sieci. Rozwinięciem zadania OPF jest uwzględnienie względów bezpieczeństwa pracy systemu w postaci tzw. Security Constraint Optimal Power Flow (SCOPF). W tym przypadku wyznaczenie rozwiązania zadania OPF uwzględnia dodatkowe wyłączenia elementów systemu. Jakie elementy zostały wdrożone w prowadzonych analizach uzasadniając zadanie SCOPF względem zadania OPF?

## 6.2. Uwagi szczegółowe

1. Str. 25. Nie jest zrozumiałą wniosek dotyczący rys. 3.4. W 6 miesiącu „większe wartości” przyjmuje generacja z 2017 roku.
2. Str. 25. W opisie przedstawiono rok 2018. Skąd pojawił się wybór tego roku? Przykładowo rok 2019 cechuje się największą generacją, a rok 2017 ma największy współczynnik wykorzystania mocy. Wydaje się zasadne podanie uzasadnienia takiego wyboru.
3. Wzór (3.2). Brak symbolu sumowania za okres miesiąca. Ponadto dzielenie nie może być przeprowadzone przez liczbę godzin w roku, jeśli wynik dotyczy miesiąca.
4. Str. 35. Jak powiązano moc osiągalną we wzorze (3.4) z mocą zainstalowaną z tabeli 3.7.
5. Str. 39. Niewłaściwa przytoczona wartość współczynnika korelacji (por. rys. 3.20).
6. Str. 40. Przeprowadzono podział JWCD na 7 klas (nie jak podaje Autor na 8).
7. Str. 42. Czy tempo zmiany obciążenia w ESP (500 MW/min) zostało wykorzystane w modelu dla interwału godzinowego.
8. Str. 59. Czy rzeczywiście czas uruchomienia jest mniejszy od czasu minimalnego zgodnie z zależnością (5.5).

9. Str. 59. Jaki jest sens sumowania względem czasu w zależności (5.6). Ponadto czy znak nierówności nie powinien być przeciwny zgodnie z opisem w treści.
10. Str. 73. Jakie wartości jednostkowe przyjęto dla energii niedostarczonej (ENS) i nieodebranej (DUM).
11. Str. 77. Jaka rolę przypisano współczynnikom skalującym  $d$  oraz  $f$ .
12. Str. 80. Podane w tabeli 6.2 oraz 6.3 wyniki są oczywiste dla lat 2026-2030. W tych latach nie są już dobierane SMEE. Wniosek na stronie 86 nie jest spójny z wynikami z tab. 6.3. Z biegiem lat nie następuje wzrost parametrów SMEE. Jak zatem zostało to uwzględnione w analizie ekonomicznej. Czy nastąpił demontaż zainstalowanych magazynów.
13. Str. 88. Na rysunku 7.2 b) przedstawiono pracę SMEE w powiązaniu z zapotrzebowaniem. Dlaczego przy najwyższym zapotrzebowaniu następuje ładowanie magazynów. Jak należy to tłumaczyć.
14. Str. 92. Czy liczba uruchomień rzędu 8385 razy na rok oznacza uruchomienie co godzinę. Jak należy to rozumieć.
15. Str. 94. W tabeli 7.5 przedstawiono roczną generację JWCD. Dlaczego wpływ SMEE jest tak niewielki, w tym również w ramach pracy szczytowej.
16. Str.100. Stwierdzono, że dzięki SMEE cena energii odzwierciedla rzeczywiste koszty pracy podsektora wytwórczego. Czy należy zatem wnioskować, że bez SMEE nie następuje takie odzwierciedlenie.
17. Str. 105. Czym jest redukcja całkowitego kosztu pokrycia zapotrzebowania.
18. Str. 109. Na rysunku 7.9 przedstawiono wskaźniki ekonomiczne, w tym SRR. Zmiana znaku skumulowanych przepływów z osią odciętych nie musi świadczyć o dodatnim wyniku NPV przy uzyskanych wynikach. Jest to jednoznaczne dla zerowej stopy dyskontowej. Ponadto inne wartości SRR podano w tabeli 7.12 a inne w tekście.

Przedstawione powyżej uwagi nie kwestionują pracy włożonej w opracowanie i przedstawienie treści rozprawy doktorskiej, a ich zamierzeniem jest rozszerzenie i wyjaśnienia nasuwających się problemów.

## 7. Ocena redakcji rozprawy

Struktura rozprawy jest poprawna i czytelnie prezentuje analizowany problem, przyjęte założenia oraz wykonane badania. Kolejne rozdziały początkowo wprowadzają w treści aby finalnie doprowadzić do udowodnienia tezy rozprawy. Użyte terminy są poprawne i zgodne z nomenklaturą zagadnienia. W wybranych przypadkach można dyskutować o przyjętych tłumaczeniach z j. angielskiego. Przykładem jest używane określenie „zatłoczenie”, które jest bezpośrednim tłumaczeniem słowa „congestion”. W j. polskim przyjęto używać słowa ograniczenie (sieciowe), co odpowiada stronie fizycznej jak i formułowaniu funkcji celu.

Podział treści pomiędzy rozdziały odpowiada przedstawianym zagadnieniom. Sprzyja to prezentacji przeprowadzonych rozważań.

Treści rozprawy nie budzą wątpliwości, niemniej redakcja wymagałaby większej uwagi. W treści rozprawy doktorskiej stwierdzono błędy redakcyjne. Są to w dużej mierze błędy literowe. Można także zlokalizować niepoprawne przywołania rysunków (przykład: str. 31 –



jest rys.3.8, powinno być 3.10; str. 36 – powinno być rys. 3.16; str. 72 – powinno być rys. 5.6). W niektórych przypadkach pojawia się błąd jednostki (przykład str. 80, tab. 6.2, powinna być jednostka czasu). Uważnej redakcji powinny podlegać również zapisy zależności (por. uwagi szczegółowe) oraz oznaczenia, w tym indeksy (przykład str. 94, wzór (7.2)).

Powyższe braki nie wpływają bezpośrednio na wartość merytoryczną rozprawy, jednak wprowadzają odczucia pewnej niestaranności.

Literatura zestawiona w rozdziale Bibliografia jest wystarczająca dla przedstawienia tła rozprawy. Należy jednak zauważyć, że jej układ jest mało czytelny. Dotyczy to jej uporządkowania (bądź jego braku) oraz opisu poszczególnych pozycji literaturowych. Do wielu z nich trzeba zatem przystępować przez wstępne przeszukanie zasobów Internetu celem sprecyzowania odnośników.

## **8. Podsumowanie i wniosek końcowy**

1. Oceniając zawartość przedstawionej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że Doktorant w sposób wystarczająco jednoznaczny sformułował oryginalny problem naukowy, który następnie rozwiązał przy użyciu metod naukowych.
2. Postawiony cel rozprawy był konsekwentnie realizowany i zostały osiągnięte oczekiwane wyniki i sformułowane wnioski o charakterze naukowym, jak i praktycznym. Przekaz pracy Doktoranta potwierdza sformułowaną tezę rozprawy.
3. Doktorant wykazał się odpowiednim opanowaniem wiedzy teoretycznej i umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych w dyscyplinie naukowej elektrotechnika, w której to prowadził swoją działalność naukową, jednocześnie wnosząc swoje osiągnięcia naukowe do dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika wg bieżącej klasyfikacji.
4. Po analizie treści rozprawy uważam, że przedłożona rozprawa Pana mgr. inż. Roberta Raczkowskiego pt.: „Zwiększenie udziału generacji wiatrowej w systemie elektroenergetycznym poprzez optymalizację pracy systemu magazynowania energii” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim zawarte w art. 13 ustęp 1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami uwzględnionymi m.in. w tekście ogłoszonym w Dziennikach Ustaw: z 2016 r. poz. 882, z 2016 r. poz. 1586).
5. **Wnioskuje o dopuszczenie mgr. inż. Roberta Raczkowskiego do publicznej obrony recenzowanej rozprawy doktorskiej.**

*M. Rucinski*