



Lublin, 26.04.2023 r.

dr hab. inż. Paweł Pijarski, prof. uczelni

p.pijarski@pollub.pl

WPŁYNEŁO

2022 -05- 0 9

dn.....

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Marcina Kopyta

„Prognozowanie obszarowe zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej”

Promotor: dr hab. inż. Dariusz Baczyński, prof. uczelni

Promotor pomocniczy: dr inż. Jacek Wasilewski

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej z dnia 21.03.2023 r. oraz pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej Pana prof. dr hab. inż. Tomasza Stareckiego z dnia 21.03.2023 r.

1 Wybór tematu rozprawy doktorskiej oraz informacja o jej praktycznym znaczeniu

Tematyka prognozowania, zarówno zapotrzebowania jak i produkcji energii elektrycznej, 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. 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. 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 dolin obciążenia, 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 szczególnie problem stanowią natomiast przekroczenia dopuszczalnych obciążalności prądowych linii napowietrznych głównie 110 kV. Kolejne trudności wynikają z możliwości wystąpienia stanów awaryjnych, tworzenia układów wyspowych. Ważna jest zatem niezawodność i bezpieczeństwo pracy systemu elektroenergetycznego. Znajomość prognoz przepływów energii przyczynia się więc m. in. do poprawy sterowania SEE oraz usprawniania pracy operatorów sieci.

Idea tworzenia tzw. klastrów energii oraz lokalnych obszarów bilansowania wydaje się być zasadna w dobie coraz większego nasycenia sieci elektroenergetycznej źródłami rozproszonymi. Bilansowanie energii elektrycznej w ramach danego obszaru lub obszarów staje się obecnie niezwykle istotnym i aktualnym zagadnieniem współczesnej elektroenergetyki.

Konieczne jest zatem nieustanne poszukiwanie nowych metod i algorytmów prognozowania, które pozwolą operatorom na ciągłe dostosowywanie się do zmiennych warunków pracy sieci elektroenergetycznej. W literaturze spotyka się wiele różnego rodzaju metod prognozowania, o różnej efektywności, które były i są wykorzystywane w praktyce. Dotychczas, nie wynaleziono jednak jednej idealnej, uniwersalnej metody lub metodyki, umożliwiającej rozwiązywanie (z jednakową skutecznością) wszystkich problemów, z którymi boryka się system elektroenergetyczny. W związku z tym warto poszukiwać nowych rozwiązań i sposobów, które będą skuteczniejsze i bardziej efektywne w danej klasie problemów od metod już istniejących. Zaproponowana w recenzowanej rozprawie metodyka prognozowania obszarowego wpisuje się w niniejszy trend polepszając oraz usprawniając dotychczas stosowane podejścia. Pozwala m.in. zmniejszyć koszt pozyskania prognoz pogody oraz różnicować wielkość obszarów, a także ich hierarchię. Skróceniu ulega również czas uzyskania wyników co jest istotne w analizach praktycznych. Dysponując takim narzędziem operator sieci będzie mógł sprawniej, szybciej i skuteczniej prognozować przepływy energii pomiędzy obszarami uwzględniając przy tym jednocześnie losową generację w źródłach OZE oraz zapotrzebowanie na energię elektryczną.

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 199 strony tekstu wraz z ilustracjami, wzorami oraz bibliografią obejmującą 332 pozycje. Dodatkowo w rozprawie zawarte zostało streszczenie w języku polskim i angielskim, a także wykaz oznaczeń, spis tabel, rysunków i załączników. Na dołączonej do rozprawy płycie CD można znaleźć załącznik w postaci pliku *.pdf* z pełnymi wynikami przeprowadzonych analiz (115 stron) oraz wybrane rysunki w wysokiej rozdzielczości, zamieszczone osobno w formacie *.svg*.

Rozprawa została podzielona na 13 rozdziałów. Część główna (badawcza) składa się z 7 rozdziałów (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Pozostałe rozdziały zawierają: cel, tezę i zakres pracy (rozdział 5), wstęp (rozdział 1), trzy rozdziały teoretyczne (2, 3, i 4) oraz podsumowanie i wnioski (rozdział 13).

Tak jak wspomniano wcześniej, rozprawę rozpoczyna streszczenie i rozdział 1, stanowiący wstęp. Nakreślono w nich tematykę pracy oraz ogólną zasadność podjęcia tego zagadnienia.

Rozdział drugi zawiera klasyfikację zagadnień związanych z prognozowaniem energii elektrycznej. Wprowadzono podział prognoz ze względu na:

- zmienną prognozowaną,
- horyzont prognoz,
- rozdzielczość czasową i przestrzenną prognoz,
- skalę przestrzenną prognoz.

Autor wyjaśnia powyższe pojęcia i podaje przykłady różnych prac, dotyczących omawianej tematyki.

W rozdziale trzecim Doktorant omawia istniejące w literaturze metody prognoz, dzieląc je na różne kategorie. Warto zauważyć, że każda opisywana metoda posiada odniesienie do literatury, a większość z nich opatrzone komentarzem i własnymi spostrzeżeniami mającymi nieraz formę dyskusji na temat ich wad oraz zalet, a także właściwego zastosowania. Na uwagę zasługuje również fakt, że przegląd tych metod jest szczegółowy z podziałem stosowanym w literaturze krajowej i międzynarodowej, co świadczy o wnikliwości Doktoranta oraz jego sprawnym poruszaniu się w rozpatrywanej tematyce.

Rozdział czwarty zawiera przegląd i opis metod prognozowania obszarowego. Duży nacisk położony został na prognozowanie energii elektrycznej w farmach wiatrowych. Nieco mniej uwagi poświęcono obszarowemu prognozowaniu energii w elektrowniach fotowoltaicznych. Pozostaje więc mały niedosyt co do tego typu metod. Wydaje się, że przy dynamicznie rozwijającej się obecnie energetyce odnawialnej opartej na fotowoltaice, można było bardziej szczegółowo opisać metody temu poświęcone. Podobna sytuacja dotyczy metod obszarowego prognozowania zapotrzebowania. Czytając ten podpunkt, Recenzent ma wrażenie jakby zostały one omówione w skrócie, podczas gdy tematyka recenzowanej rozprawy jest z nimi powiązana.

Cel, teza i zakres pracy zostały przedstawione w rozdziale piątym. Doktorant wyjaśnia założenia proponowanej metodyki, opisuje motywację wyboru tego tematu, przedstawia tezę pracy oraz jej zakres.

Główną część rozprawy rozpoczyna rozdział 6, w którym przedstawione zostały założenia i opis proponowanej metodyki. Na podstawie modelowego obszaru i schematu blokowego Autor wyjaśnia jej ideę. Opis został uogólniony tak, że rozpatrywane rozwiązanie nie jest dedykowane tylko do wybranego obszaru, ale może być stosowane do wielu różnych. Świadczy o tym ogólny schemat dla n -obszarów

sieciowych o różnej specyfice i rozmiarze. Wyeksponowane zostały również cechy charakterystyczne prognoz wykonywanych z użyciem proponowanego rozwiązania.

W rozdziale siódmym Autor przedstawia charakterystykę wykorzystywanych w obliczeniach danych. Opisane zostały dwa zbiory danych z różnych części Polski. Obejmują one swoim zasięgiem sieci o różnej strukturze, różnej liczbie odbiorców, źródeł OZE oraz powiązań z sieciami zewnętrznymi. Obszar pierwszy składa się z dwóch stacji WN, dwóch farm wiatrowych przyłączonych do sieci SN i jednej farmy wiatrowej przyłączonej do sieci WN. Obszar drugi składa się z czterech stacji WN/SN, dwóch farm wiatrowych i jednej farmy fotowoltaicznej przyłączonych do stacji WN oraz sześciu farm fotowoltaicznych przyłączonych do stacji SN. Autor przedstawił również charakterystykę statystyczną obydwóch zbiorów danych.

Czynności wstępne, konieczne do wykonania przed właściwym prognozowaniem, opisane zostały w rozdziale 8. Autor wyjaśnia stosowane zmienne podstawowe, dodatkowe, a także zasadność uwzględniania przesunięć czasowych zmiennych pogodowych oraz zmiennych wyjścia. Wyjaśniony został również sposób interpretacji diagramów korelacji. Uzasadniono także wybór kombinacji danych wejściowych oraz metod prognostycznych.

Rozdział dziewiąty zawiera opis zastosowanych trzech metod prognozowania sald energii oraz uzyskane wyniki. Pierwsza z metod, metoda naiwna, została uznana za referencyjną (odniesienia). Pozostałe dwie metody: metoda RGBost i LSTM – służyły jako właściwe metody badawcze. Wyniki uzyskane tymi metodami odnoszone były do wyników uzyskanych metodą naiwną. Generalnie Autor stwierdza, że wyniki dla dwóch metod badawczych są zauważalnie lepsze od wyników metody naiwnej. Na końcu tego rozdziału przedstawione zostały ogólne wnioski z prognoz sald energii.

W rozdziale 10 opisano system korekt prognoz przepływów energii. Autor przeanalizował wariant prosty, złożony oraz homogeniczny. Wyniki obliczeń nie wykazały istotnej poprawy uzyskanych wcześniej dokładności prognoz. Doktorant stwierdził, że decyzja odnośnie wykonywania takich korekt jest zazwyczaj arbitralna. Brakuje odpowiednich kryteriów, pozwalających stwierdzić, czy system korekt jest w danym przypadku potrzebny i czy istotnie poprawi wyniki.

Przedmiotem rozważań w rozdziale jedenastym było odtwarzanie prognoz przepływów energii dla obszarów na podstawie prognoz superobszaru. Autor stosuje w tym celu dwie metody prognozowania, przy czym jako metody referencyjne przyjmuje metodę OLS, metodę naiwną oraz wyniki dla prognoz pierwotnych. Doktorant rozważa modele pogodowe pełne, wiatrowe i słoneczne oraz stara się określić dokładność prognozowania przy użyciu każdego z nich. Dokonuje również próby określenia pewnych zależności pomiędzy danymi pogodowymi a prognozami przepływów energii.

Rozdział dwunasty poświęcony jest analizie wrażliwościowej obszarowych metod prognozowania. Zbadano zarówno wpływ rodzaju modelu prognostycznego jak i poszczególnych elementów prognoz (hiperparametry, parametry wejściowe) na jej wyniki.

Ostatni rozdział rozprawy to podsumowanie i wnioski. Wnioski rzeczywiście stanowią podsumowanie tego, co jest najbardziej istotne w treści rozprawy. Nie zabrakło tutaj stwierdzenia, że w pracy osiągnięto założone cele i tym samym teza została udowodniona. Autor wskazał także te elementy rozprawy, które uważa za wkład własny w rozwój dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Doktorant zawarł również kilkudzaniową informację na temat możliwości prowadzenia dalszych badań. W ocenie Recenzenta ta część mogłaby zostać rozbudowana. Dyskusja na temat kierunku przyszłych badań powinna być bardziej szczegółowo przeprowadzona.

Integralną częścią pracy są załączniki, dostępne na załączonej do rozprawy płycie CD, zawierające szczegółowe wyniki wszystkich obliczeń wykonanych przez Autora rozprawy (w sumie 115 stron) oraz wybrane rysunki w wysokiej rozdzielczości, zamieszczone osobno.

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 332 pozycje. Liczba cytowanych prac jest znaczna co świadczy o szczegółowym przeglądzie literatury oraz solidności i dogłębnej wnikliwości Doktoranta w analizowaną tematykę.

Przegląd literatury obejmuje pozycje poruszające zagadnienia związane głównie z prognozowaniem produkcji energii elektrycznej oraz jej zapotrzebowania. Wiele prac dotyczy także zagadnień poświęconym metodom prognozowania. Doktorant cytuje również strony internetowe operatorów oraz różnych serwisów internetowych udostępniających np. dane pogodowe.

Wykaz cytowanych prac jest odpowiedni zarówno pod względem liczbowym jak i tematycznym. Literatura swoim zasięgiem obejmuje prace krajowe i zagraniczne, zatem w pełni 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 Doktoranta na temat rozpatrywanej tematyki. Siedem pozycji literaturowych powstało przy udziale Autora rozprawy.

4 Ocena celu i tezy rozprawy doktorskiej

Cel, teza i zakres pracy zostały przez Doktoranta przedstawione w rozdziale 5. Celem pracy jest utworzenie i przetestowanie działania metodyki obszarowego prognozowania przepływów energii przy uwzględnieniu różnych aspektów wpływających na prognozy.

Recenzent uważa, że cel został sformułowany jasno i przejrzysto.

Teza rozprawy brzmi następująco: „*Podejście hierarchiczno-obszarowe do prognoz przepływów energii elektrycznej umożliwi osiągnięcie porównywalnych wyników do prognoz punktowych, z jednoczesną redukcją kosztów pozyskania i przetwarzania danych oraz zwiększeniem bezpieczeństwa systemu prognoz*”.

Sposób sformułowania tezy uważam za prawidłowy.

Zakres pracy został wyszczególniony na str. 83 i 84. Obejmuje dziewięć punktów związanych z analizowaną tematyką. Uważam, że Doktorant w sposób wyczerpujący opisał założenia i problematykę swoich analiz.

5 Ocena zastosowanych metod badawczych

Wybór narzędzi i metod prognostycznych opisany został w podrozdziale 8.6. Natomiast opis modeli prognoz zawarty jest w rozdziale 9. O metodach prognostycznych jest także mowa w rozdziałach 10, 11 i 12, w których Autor podczas opisu wyników analiz wspomina fragmentami o zastosowanych metodach. Jako metoda referencyjna wybrana została metoda naiwna. Jako główne metody badawcze Autor wybrał metodę XGBost oraz sieć LSTM. W niektórych fragmentach pracy Autor wspomina również o innych sposobach, ale wymienione metody stanowią podstawę do analiz i wyciągania wniosków.

Uważam, że wybór metod badawczych jest prawidłowy. W tekście pracy Autor uzasadnia go własnym doświadczeniem (str. 120, str. 123) oraz przeglądem literatury. Nie wskazuje On jednak konkretnych wyników własnych badań, które świadczyłyby o wyższości zastosowanych metod nad innymi. Prawdopodobnie w trakcie przygotowania niniejszej rozprawy również inne metody prognostyczne były wykorzystywane przez Doktoranta i porównywane. Także wybór zastosowanych metod wynika zapewne z analiz, będących przedmiotem wcześniejszych prac Autora.

6 Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Wyniki analiz wykonanych przez Doktoranta prezentowane są w kilku rozdziałach (7, 8, 9, 10, 11, i 12). Autor po każdej analizie wyciąga odpowiednie wnioski i umieszcza własne, przemyślane komentarze i spostrzeżenia. Poniżej przytaczam przykłady rozdziałów, w których Autor omawia wyniki swoich obliczeń.

W rozdziale siódmym opisane zostały obydwie zbiory danych. Zamieszczona została ich charakterystyka statystyczna, a także odpowiednie komentarze własne Doktoranta. Na podstawie analiz Autor stwierdził spójność zmian czasowych badanych próbek danych, ich wiarygodność oraz brak konieczności dalszego oczyszczania. Ocena danych miała na celu ich przydatność i wystarczalność do właściwych obliczeń.

Rozdział ósmy dotyczy wstępnego przygotowania do prognozowania i zawiera m.in. analizę korelacji danych dla obydwu obszarów testowych z podziałem na dane punktowe i obszarowe. Określono również kombinacje danych wejściowych do dalszych analiz. Autor szczegółowo omawia te dane zarówno pod kątem lokalizacji jak i rodzaju zmiennych. Opisuje zmienne podstawowe, dodatkowe, a także sposób prezentowania wyników na diagramach korelacji. Komentarze i opis są spójne i zrozumiałe.

W rozdziale dziewiątym, oprócz opisu zastosowanych metod prognostycznych, wykonane zostały prognozy dla obydwu zbiorów danych. Wyniki tych prognoz, przedstawione w formie tabelarycznej i za pomocą wykresów, Autor opatrzył odpowiednim, szczegółowym komentarzem. Porównane zostały wyniki uzyskane różnymi metodami oraz wyeksponowane najlepsze, uzyskane wartości. Autor rozróżnił sezonowość danych oraz jej wpływ na dokładność prognoz. Syntetyczne wnioski zamieszczono na końcu punktu 9.

Rozdział 10 dotyczy systemu korekt prognoz przepływów energii. Doktorant przedstawia cel ich stosowania, wykorzystane metody, a także uzyskane wyniki. Osobne podrozdziały poświęcone są wnioskowi wynikającym z tej analizy. Osobny podpunkt zawiera również wnioski ogólne. Autor w sposób przemyślany, treściwy odnosi się do wyników. Opisuje zarówno korzyści związane z zastosowaniem systemu korekt, jak i wyraźnie zaznacza sytuacje, w których system korekt nie poprawił dokładności prognoz.

W rozdziale 11 przedstawiono wyniki obliczeń dotyczące rozdziału salda energii superobszaru na poszczególne obszary. Komentarzem opatrzone zostały zarówno zastosowane metody jak i uzyskane wyniki obliczeń. W osobnym podrozdziale zawarto szczegółowe wnioski, wynikające z analiz dla obydwu zbioru danych. Położono nacisk zarówno na porównanie wyników otrzymanych różnymi metodami, jak i na wpływ różnych modeli pogodowych.

Rozdział 12 zawiera analizę wpływu metod i poszczególnych elementów prognoz na jej wynik. Autor w sposób szczegółowy dokonuje porównania wyników analiz uzyskanych różnymi metodami prognostycznymi oraz określa wpływ hiperparametrów, a także danych wejściowych na dokładność prognoz. Wnioski i spostrzeżenia poparte są odpowiednimi komentarzami, których prawidłowość opiera się na właściwej argumentacji.

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

Moja 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
23	W połowie strony	Słowo „...czasowych...” występuje samodzielnie w jednym wierszu, a pozostała część zdania zostaje przeniesiona do kolejnego wiersza.
39	Ostatni akapit	Autor wyróżnia podkategorie inteligencji obliczeniowej w tekście. Lepiej byłoby zastosować wypunktowanie.
40	Pod słowem Zalety	Autor wymienia zalety metod inteligencji obliczeniowej w jednolitym tekście. Lepiej byłoby zastosować wypunktowanie.
41	Pod słowem Wady	„Dla odpowiedniej skuteczności uczenia wymagana jest odpowiednio duży zbiór...” – powinno być „ wymagany ”
50	W połowie strony	„...bieżących-np...” – powinno być „bieżących, np.” (przecinek zamiast myślnika)
65	Ostatni akapit w 1	„W analizie początkowej w celu określenia...” – powinno być „W analizie początkowej, w celu określenia” (brakuje przecinka)
65	Wzór 4.3	Moim zdaniem tzw. „daszek” nad wielkością P_{kl} , $P_{k\bar{s}r}$ powinien obejmować tylko tę wielkość (czyli literę P) a nie indeks. (jest za szeroki)
66	Ostatni akapit w 2	Jest odwołanie do równania (3.1), a powinno być prawdopodobnie odwołanie do równania (4.1)
81	W połowie strony	„... w Polsce na koniec było zainstalowanych...” – powinno być uzupełnione na koniec jakiego roku albo okresu czasu.
89	W połowie strony	„Stąd też chcąc korzystać najświeższych...” – powinno być „Stąd też chcąc korzystać z najświeższych...”
89	9 wiersz od końca	„a samo zagadnienie ...” – powinno być „a samo zagadnienie”
101	Akapit drugi	„Analizę korelacji przeprowadzo dla obu obszarów...” – powinno być „...Analizę korelacji przeprowadzono dla obu obszarów...”
104	W połowie strony	„...700-800 W/m ² ...” – powinno być „...700-800 W/m ² ...” „...400 W/m ² ...” – powinno być „...400 W/m ² ...”
104	W połowie strony	Jednostka prędkości m/s występuje na początku następnego wiersza natomiast wartość 20 na końcu poprzedniego wiersza.
111	Drugi akapit w 5	„Może mieć ona mieć np...” – powinno być „Może ona mieć np...”
144	4 wiersz pod podrozdziałem 11.1	Jest odwołanie do punktu 8 a powinno być prawdopodobnie odwołanie do punktu 10.
125, 126, 130, 131	Rysunki 9.1-9.4, Rysunki 9.5-9.8	W legendzie jest „ progozy ...” a powinno być „ prognozy ...”. Taka sama uwaga odnosi się również do wybranych rysunków w załączniku.

Uwagi redakcyjne o charakterze ogólnym:

- W niektórych zdaniach brakuje przecinków, np. a) str. 21, ostatni akapit – „Jednymi z najczęściej stosowanych, jako dane wejściowe do modeli...”, b) str. 26, pierwszy akapit – „Dla Polski można podać, jako przykład...”, itp.
- Rozmiar czcionki na niektórych rysunkach mógłby być większy, np. Rysunek 12.1, Rysunek 12.3, Rysunek 12.4, Rysunek 12.6.
- W niektórych miejscach Autor powinien doprecyzować stwierdzenia w tekście oraz unikać zwrotów potocznych, np. a) str. 81 – „było zainstalowanych 4879 OZE” – lepiej byłoby „było zainstalowanych 4879 **instalacji** OZE”, b) str. 104 – „temperatura sięga” – powinno być precyzyjnie „temperatura **otoczenia (powietrza)** sięga”, c) str. 155, drugi akapit, 6 wiersz, moim zdaniem stwierdzeniem potocznym jest stwierdzenie: „spływem energii z dużego OZE słonecznego”, itp.
- Niektóre zdania wymagają przeredagowania pod kątem szyku wyrazów, np. a) w połowie strony 45 – „Warto zauważyć, że **przeważnie nowość** przedstawionych w publikacjach metod polega na dodaniu do nich...” – powinno być „Warto zauważyć, że **nowatorstwo** przedstawionych w publikacjach metod polega **przeważnie** na dodaniu do nich...”, b) str. 26. pierwszy akapit – „Dla Polski można podać jako przykład prognozy...” – lepiej brzmi: „Jako przykład dla Polski, można podać prognozy...”, c) str. 115, drugi wiersz od góry – „... i miało, zgodnie z literaturą, być... - powinno być raczej „...i zgodnie z literaturą, miało być...”, itp.
- W dwóch miejscach Autor cytuje stosunkowo dużą liczbę prac jednocześnie i cały wiersz lub więcej zajmują cytowania, np. str. 44 (24 pozycje literatury) i str. 115 (17 pozycji literatury). 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 Autor chciał w jednym miejscu „nadrobić” bibliografię. Wskazana literatura jest oczywiście powiązana z fragmentem tekstu, przy którym występuje, niemniej jednak krótki opis powinien zostać dodany.

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:

- Autor przedstawia modele badawcze odpowiadające dwóm obszarom z różnych części Polski. Modele te obejmują odpowiednio dwie i cztery stacje WN/SN. Czy Doktorant rozpatrywał (lub czy planuje rozpatrywać w ramach przyszłych badań) większe obszary, tzn. obejmujące większą

liczbę GPZ-tów? Jak w praktyce wpływa rozmiar badanego obszaru na dokładność i efektywność prognozowania (np. rozdziału prognozowanych przepływów superobszaru na obszary składowe przepływów energii) przy wykorzystaniu proponowanej metodyki? Jak Autor postrzega w praktyce pojęcie maksymalnego rozmiaru obszaru i superobszaru w sieci rzeczywistej? Obszar może stanowić stacja, kilka stacji, oddział danego operatora lub też np. cały obszar OSD.

- Jak, według Autora, wpływa specyfika, struktura danego obszaru na dokładność prognozowania przepływów energii elektrycznej przy wykorzystaniu proponowanej metodyki? Można rozpatrywać np. obszar składający się z kilku stacji przelotowych, oddalonych od siebie o kilkanaście-kilkadziesiąt kilometrów wraz z nielicznymi źródłami OZE albo obszar z licznymi stacjami, zlokalizowanymi w niewielkiej odległości od siebie, o znacznym zagęszczeniu oraz licznymi powiązaniem pomiędzy sobą i siecią zewnętrzną, a także licznymi źródłami odnawialnymi.
- Obecnie coraz więcej mówi się o tzw. „cable pooling”, czyli o współdzieleniu infrastruktury sieciowej przez różne OZE w ramach wydanych warunków przyłączenia. Jak, zdaniem Autora, wpływa przyłączenie w jednym węźle kilku obiektów, np. dwóch źródeł odnawialnych o różnej technologii wytwarzania (farma wiatrowa, fotowoltaiczna) oraz dodatkowo magazynu energii na wyniki prognozowania przy wykorzystaniu proponowanej metodyki?
- Str. 116 – wybór rocznego zbioru testowego dla pierwszego zbioru danych – Autor wybrał rok 2018 z posiadanego zakresu danych 2016-2018. Czym podyktowany był wybór roku 2018?
- Jako metody prognozowania zastosowano metodę XGBost oraz sieć LSTM. Czy wybór tych metod poparty był wcześniejszymi, podobnymi analizami, czy też wynikał z ich zastosowań oraz wykazanej skuteczności w dostępnej literaturze? Czy Autor stosował również inne metody w swoich badaniach? Moim zdaniem, w przyszłych badaniach Doktorant mógłby wykonać własne analizy prowadzące do wyboru optymalnej metody prognozowania. Autor podaje co prawda informację, że wybór metod wynikał z Jego „...wcześniejszego doświadczenia profesjonalnego” (str. 120) ale nie popiera tego (w tym miejscu) konkretnymi wynikami, które wskazywałyby na ich optymalność i dużą skuteczność w porównaniu z innymi. Uwaga ta ma charakter zachęcający Doktoranta do podjęcia dalszych badań w tym zakresie.
- W przypadku sztucznej sieci neuronowej LSTM Autor zastosował mniejszą liczbę kombinacji hiperparametrów niż dla metody XGBost. Zdaniem Recenzenta Autor mógłby porównać wyniki uzyskane obydwoma metodami dla podobnych założeń. Następnie można byłoby przeanalizować różne układy sieciowe i różne zbiory danych, w celu wypracowania sobie pewnych prawidłowości oraz własnego poglądu na akceptowalną wielkość ograniczeń i maksymalną liczbę iteracji z punktu widzenia dokładności, skuteczności i efektywności. Wiedza ta pozwoliłaby na

upraszczanie i skracanie obliczeń przy analizie różnych układów tak aby mieć pewność, że uzyskane wyniki są akceptowalne w praktyce. Uwaga ta ma charakter motywujący Doktoranta do przyszłych badań. Autor podaje co prawda, że wskazane wartości ograniczeń wynikają z Jego doświadczenia (str. 123) ale nie wskazuje (w tym miejscu) na konkretne wyniki badań o tym świadczące. Być może próby takich analiz były podejmowane w trakcie pracy nad rozprawą, ale nie zostały dotychczas sfinalizowane osobną publikacją.

- Rozdział 10, str. 134 – Autor zawarł zdanie: „*System złożony dodatkowo uwzględnił 2 inne aspekty*”. Warto by w tym miejscu uzupełnić jakie konkretnie aspekty zostały uwzględnione.
- W rozdziale 11 Autor dywaguje na temat wpływu pogodowych modeli wiatrowych, słonecznych oraz pełnych na dokładność prognozowania przepływów energii. Wysnuwa wnioski osobno dla każdego zestawu danych i stara się znaleźć pewne prawidłowości wynikające z analiz. Moim zdaniem wnioski ogólne można sformułować dopiero po analizie wszystkich rozpatrywanych przypadków. Na str. 151 Doktorant stwierdza, że dla pierwszego zestawu danych „...*dane nasłonecznienia nie mają odzwierciedlenia w przepływach energii przy braku OZE słonecznego na rozważanym poziomie napięcia*”. Czy ta prawidłowość obowiązuje w każdym przypadku? Przy drugim zestawie danych, na str. 155 jest natomiast stwierdzenie: „*Tak silne zmniejszenie współczynnika świadczy o znacznie większej roli warunków pogodowych dla danej stacji niż można by początkowo przypuszczać. Dla tej stacji można to uzasadnić sphywem energii z dużego OZE słonecznego*” i dalej „...*modele dużo większą niż dla pierwszego kompletu danych wagę przypisywały nasłonecznieniom*”. Czy w przypadku obecności źródeł PV po stronie SN i przepływów mocy od nich w kierunku sieci WN oraz braku źródeł PV po stronie WN, warunki słoneczne również nie mają wpływu na przepływy energii po stronie WN?

Powyższe uwagi i pytania traktuję jako dyskusyjne i pozostające bez istotnego wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy.

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 Doktorant, Pan mgr inż. Marcin Kopyt, wykazał się odpowiednią wiedzą teoretyczną, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz umiejętnością prowadzenia badań i przedstawienia ich wyników.

Uwagi krytyczne i pytania dyskusyjne przedstawione w niniejszej recenzji nie mają istotnego wpływu na pozytywną ocenę rozprawy.

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

- opracowanie metodyki obszarowego prognozowania przepływów energii elektrycznej;
- zaproponowanie metody automatyzacji doboru zmiennych wejściowych przy znacznej ilości danych wejściowych;
- opracowanie modeli prognostycznych przepływów energii przy zastosowaniu danych wejściowych o charakterze punktowym i obszarowym;
- zaproponowanie systemu ekspertowego korekt prognoz przepływów energii w dwóch wariantach;
- opracowanie modeli rozdziału prognozowanych przepływów superobszaru na obszary składowe.

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

Doktorant wykazuje się również interdyscyplinarnością, która objawia się znajomością zagadnień nie tylko z zakresu dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, ale również matematyki i informatyki. Tego typu analizy wymagają umiejętności posługiwania się odpowiednim oprogramowaniem, a nawet tworzeniem własnych aplikacji niezbędnych do sprawnego wykonania wielu symulacji. Należy również podkreślić fakt, że Autor wykonał ogromną pracę przygotowując niniejszą rozprawę. Uzyskane wyniki oraz wyciągnięte na ich podstawie wnioski i spostrzeżenia okupione były dużą liczbą symulacji oraz długim czasem poświęconym na ich wykonanie.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej ocenę stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Marcina Kopyta stanowi cenny wkład w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz spełnia warunki i wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim, określone w artykule 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.

Paweł Pijawski