

WPŁYNEŁO

dn..... 2022 -05- 1 0

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina KOPYTA pt.:  
*Prognozowanie obszarowe zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej*

### 1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne prof. dr hab. inż. Tomasza Stareckiego z dnia 21.03.2023 r., dotyczące opracowania recenzji rozprawy doktorskiej.

### 2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina Kopyta pod tytułem „Prognozowanie obszarowe zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej”.

Przedłożona rozprawa doktorska liczy łącznie 199 stron tekstu. W tej objętości wyróżniono 13 rozdziałów, bibliografię, streszczenia w języku polskim i angielskim, spisy tabel i rysunków oraz informację o załącznikach. Same załączniki dołączono do wersji drukowanej w formie zbioru plików na płycie CD.

### 3. Ocena aktualności tematyki rozprawy

Treści rozprawy skupiają się wokół tematu prognoz energii elektrycznej w wymiarze bilansów obszarowych i przepływów międzyobszarowych. Temat ten stał się wyznacznikiem zawartości rozprawy, ułożenia treści, przeprowadzonych rozważań i wyciąganych wniosków.

Rolę prognozy można rozpatrywać biorąc pod uwagę system elektroenergetyczny w zakresie funkcjonowania operacyjnego, które wiąże się z bieżącym bilansowaniem popytu i w zakresie podaży energii elektrycznej oraz bezpieczeństwa energetycznego, które wiąże się z zapewnieniem dostępu do pokrycia przyszłego zapotrzebowania. Zarówno w jednym, jak i w drugim przypadku mamy do czynienia z prognozą aczkolwiek o różnym horyzoncie. Tak więc, niezawodna i ciągła praca systemu elektroenergetycznego wymaga informacji pochodzących z prognoz. Wynika stąd, że prognozowanie jest niezbędną czynnością

prowadzenia działań operatorskich związanych z zarządzaniem systemem elektroenergetycznym.

Ponieważ funkcjonowanie systemu powiązane jest nie tylko z celami technicznymi, ale również z osiąganiem wyników finansowych, klimatycznych a nawet przełożeń społecznych stąd rola prognoz ma jeszcze znacznie szerszy oddźwięk i zastosowanie. Funkcjonowanie rynku energii elektrycznej czy też realizacja celów polityki energetycznej, w tym transformacji energetyki wymaga opracowania zasad i stosowania odpowiednich algorytmów służących właściwej jakości prognoz. Tym samym zagadnienie prognozowania będące nośnikiem przedmiotowej rozprawy doktorskiej jest aktualnym i pożądanym kierunkiem badawczym.

Przyjęty wymiar bilansowania obszarowego jako wyniku salda zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej dla określonego fragmentu systemu elektroenergetycznego jest praktycznym spojrzeniem na wsparcie procesów rozliczeniowych technicznych i rynkowych. Procesy te są stale pogłębiane z uwagi na rozwój technologii, dostęp do sieci oraz świadomość energetyczną użytkowników systemu elektroenergetycznego. W bieżących realiach kształtowania struktury wytwórczej systemu elektroenergetycznego znaczącym stał się udział źródeł odnawialnych. Tendencja ta stała się koniecznością z uwagi na wyczerpywanie łatwo dostępnych paliw kopalnych oraz z uwagi na politykę klimatyczną, w której zauważalne są odejście od spalania paliw i redukcja emisji m.in. dwutlenku węgla. Przy specyfice wykorzystania technologii odnawialnych źródeł energii szczególnie ważnym jest właściwe planowanie pokrycia zapotrzebowania, z uwagi na produkcję uwarunkowaną często czynnikami klimatycznymi. Również w zakresie zapotrzebowania, wzrastające uzależnienie komfortu życiowego, funkcji transportowych oraz grzewczych od energii elektrycznej wymaga przewidywania skali zużycia energii. Powyższe wskazuje zatem na niezwykle ważną potrzebę wyznaczania bilansów energii w różnych horyzontach czasu.

Przedmiotowa rozprawa wpisuje się w nurt badań wykorzystania technik prognozowania do wyznaczania krótkookresowych bilansów energii elektrycznej. Podjęte prace uwzględniają zachodzące zmiany w systemie elektroenergetycznym w szczególności po stronie technologii wytwórczych, co oznacza, że problem badawczy jest aktualny a przedstawiane w rozprawie zagadnienie jest ważnym krokiem w kierunku poszukiwania formuł rozwiązań praktycznych. Należy zatem tematykę rozprawy uznać za aktualną i użyteczną, a z uwagi na przedmiot i zakres przedstawioną rozprawę można zakwalifikować do dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

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

Można zauważyć, że omawiany i rozwijany w przedmiotowej rozprawie temat prognozowania bilansów obszarowych energii elektrycznej został podzielony zagadnieniowo na kilka sekcji, w ramach których wyróżniono poszczególne rozdziały. Zgodnie z podziałem wprowadzonym przez Autora treści rozprawy doktorskiej zapisane są w 13 głównych rozdziałach.

Pierwszy, bardzo syntetyczny, rozdział jest wprowadzeniem do obszaru badawczego rozprawy i wyjaśnieniem tła podejmowanego problemu. W tym rozdziale Doktorant wychodzi od transformacji energetycznej, związanych z nią przemian i wskazuje potrzebę podjęcia zagadnienia lokalnego bilansowania energii elektrycznej.

W rozdziale drugim wprowadzana jest klasyfikacja prognoz. Rozdział zawiera szerokie spojrzenie na elementy (parametry) prognoz, które istotnie wiążą się z rozumieniem i

doborem metod, obiektów przedmiotowych prognoz oraz sposobu opisu i dyskretyzacji. Autor przedstawia kryteria podziału wyróżniając wśród nich: zmienną prognozowaną, horyzont prognoz oraz wskazuje na rozdzielczość czasową i przestrzenną prognoz. Wprowadzane pojęcia stają się ważne w świetle dalszej części pracy.

Rozdział trzeci zawiera obszerny opis ogólnie stosowanych metod prognostycznych. Opis ten oparty na literaturze daje obraz zróżnicowania problemu prognozowania i stosowanych podejść z perspektywy różnych autorów. Aktualność problematyki prognozowania, przy niejednoznacznym uwarunkowaniu zadania i dążeniu do wysokiej poprawności wyników owocuje szerokim spektrum proponowanych w kraju i w świecie metod. Podjęte przez Doktoranta wyzwanie zagłębienia się w ten obszar prac jest pracochłonne i wymagało wprowadzenia pewnej selekcji, dzięki której została ograniczona objętość prezentowanego materiału.

Treści rozdziału czwartego rozprawy również pozostają w temacie literaturowym prognoz, ale skupiają się już wokół prognozowania obszarowego. W tym rozdziale Autor opisał podejmowane przez innych badaczy propozycje ujęcia prognoz obszarowych, wyróżniając zastosowane metody i modele. Poza samymi modelami zostały przedstawione przykłady podejścia do prognozowania produkcji energii przez źródła wiatrowe oraz przez źródła fotowoltaiczne. Dopełnieniem jest opis przestrzennych prognoz obciążeń wynikających z zapotrzebowania na energię elektryczną.

W rozdziale piątym Doktorant formułuje założenia, które należałoby uwzględnić w stawianym problemie naukowym, a następnie przechodzi do postawienia tezy i określenia zakresu pracy. Od tego rozdziału rozprawa zasadniczo skupia się na przedmiotowej metodzie podejścia do prognozowania obszarowego.

Rozdział szósty zawiera opis proponowanego przez Autora rozwiązania. W tym rozdziale pojawia się krótka charakterystyka stawianego problemu, w tym schematyczny obraz tzw. obszarów i superobszaru istotnych dla formułowanych założeń. Poza kwestią definicyjną przedmiotu dalszych analiz Autor przedstawia również założenia co do podejmowanych badań i proponowanej metody.

W kolejnym rozdziale Doktorant charakteryzuje pozyskane i wykorzystane w analizach dwa zbiory danych zróżnicowane co do pochodzenia. W tym zakresie przedstawia zakres danych, rozdzielczość oraz obiekty objęte opisem danych. Prezentując charakterystykę ilościową i jakościową serii danych korzysta z opisu statystycznego.

Rozdział ósmy zawiera opis podjętych czynności przygotowawczych, poprzedzających właściwe analizy prognostyczne. W ramach tych czynności opisane zostały zmienne podstawowe w postaci zmiennych pogodowych oraz szeregi czasowe w postaci sald energii. Ponadto zostały określone zmienne dodatkowe, a następnie przedstawiono wyniki analiz korelacji, określając skalę powiązań i istotność zmiennych. W dalszej kolejności przedstawiono przyjęte kombinacje danych wejściowych, a w końcówce rozdziału określono wybrane metody i narzędzia prognostyczne.

W rozdziale dziewiątym opisano opracowane trzy modele prognoz. Autor przedstawił opis wykonanych badań prognoz punktowych i obszarowych dla każdego przypadku modelowego. Ponadto opisane zostały również wyniki strojenia hiperparametrów modeli dla określonych kombinacji danych wejściowych. Kombinacje zostały określone dla przyjętych wartości poszczególnych parametrów modelu, wynikowo dając rozwiązanie metodą „każdy z każdym”. Również w tym rozdziale zostały określone miary jakości dla wykonanych prognoz, w tym podano uzasadnienie dokonanego wyboru. W końcówce rozdziału, podsumowując wyniki, przedstawiono ogólne wnioski z uzyskanych prognoz sald energii.

Kontynuując badania, w rozdziale dziesiątym Doktorant przedstawił opracowany system korekty prognoz sald energii, który w zamyśle miał służyć zweryfikowaniu postawionych kwestii w zakresie poprawy jakości uzyskiwanych prognoz, sposobu podejścia do korekt oraz optymalności kryteriów decyzyjnych. Wnioski wyciągnięte z przeprowadzonych analiz systemu korekt umieszczono na końcu tego rozdziału.

Rozdział jedenasty przedstawia system rozdziału salda energii określonego dla superobszaru na obszary. Idea zaproponowanego podejścia miała na celu zweryfikowanie, czy możliwe jest odtworzenie prognoz obszarów (składowych) względem posiadanej prognozy superobszaru. W tym zakresie Doktorant wykorzystał metodę najmniejszych kwadratów, metodę regresji liniowej oraz sieć LSTM. Wraz z wykonaniem obliczeń wyróżnionymi metodami dla dwóch zbiorów danych wyprowadzone zostały szczegółowe wnioski, które opisano w końcówce rozdziału.

W rozdziale dwunastym opisano podejście i wyniki analizy wrażliwości, której celem było określenie skali wpływu poszczególnych parametrów prognoz na uzyskiwane wyniki. Analizy te zostały przeprowadzone z oceną błędów odpowiednio na zbiorach: treningowym, walidacyjnym i testowym. Pod uwagę wzięto liczbę modeli, wpływ hiperparametrów, wpływ parametrów wejściowych i porównanie najlepszych wyników. W rozdziale przedstawiono wnioski z przeprowadzonych obliczeń odrębnie dla każdego zbioru danych.

Rozdział trzynasty zamyka treści rozprawy. Stanowi on podsumowanie opisanych w rozprawie zagadnień i osiągnięć Doktoranta. Rozdział zawiera również zgrubne wnioski Doktoranta wyciągnięte na podstawie wykonanych analiz.

Do istotnych elementów rozprawy należy również nienumerowany rozdział zatytułowany Bibliografia, który zawiera pozycje literaturowe przywołane w rozprawie. W rozdziale tym przytoczono łącznie 332 pozycje o różnym charakterze (głównie artykuły i referaty, ale również książki, monografie, opracowania, raporty, katalogi, instrukcje).

Drukowana wersja rozprawy zawiera również spis tabel i rysunków oraz informację o załącznikach umieszczonych na płycie CD.

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

Poruszana w przedmiotowej rozprawie tematyka prognozowania jest bardzo szeroko rozwijana i reprezentowana w badaniach i bibliografii. Ten fakt również został potwierdzony w przygotowaniu, konstrukcji podjętych działań i opisie, które to prace zostały przeprowadzone przez Doktoranta. Skala problemu badawczego jest bardzo wymagająca, nie tylko pod względem przygotowania merytorycznego, ale również z uwagi na przygotowanie danych, posłużenie się nimi w analizach, obróbkę uzyskanych wyników i przeprowadzenie dyskusji z wyciągnięciem wniosków. Te czynności złożyły się na warsztat Doktoranta i na przedmiotowe treści rozprawy, które stanowią jej oś. Przeprowadzone przez Autora rozważania i dobrane środki stały się podstawą dowodzenia tezy pracy.

Analizując treści rozprawy można przyjąć, że początkowe rozdziały (do rozdziału 4 włącznie) są wprowadzeniem i ilustracją stanu wiedzy. Z tego punktu widzenia nie stanowią one jeszcze istoty samych badań, ale są relacją z nakładem prac przygotowawczych, w ramach których budowane jest tło problemu, rozpoznawane techniki i narzędzia rozwiązania oraz nakreślane jest tytułowe zagadnienie prognozowania obszarowego. W tym zakresie Doktorant podjął się zadania usystematyzowania i charakterystyki prognoz energii o różnym przeznaczeniu, przedmiocie i parametrach. To spojrzenie jest wartym podkreślenia wkładem w prowadzone prace badawcze, gdzie często oczekiwanie wyniku może przysłonić klasyfikację problemu. Szeroko zakrojone studium literaturowe pokazuje, że podniesiony problem prognozowania, w tym prognozowania obszarowego, jest zagadnieniem o zróżnicowanym podejściu autorów, różnie formułowanym zadaniu i stosowanym warsztacie narzędziowym w zakresie rozwiązań. Wykonane rozpoznanie tematyczne pozwoliło Doktorantowi na świadome podjęcie się pracy badawczej.

Formułując w rozdziale 5 tezę rozprawy Doktorant skupił się na porównaniu podejścia hierarchiczno-obszarowego z podejściem punktowym w zakresie prognoz bilansów energii elektrycznej, zwracając przy tym uwagę na redukcję kosztów pozyskania i przetwarzania danych, jednocześnie zakładając utrzymanie jakości uzyskiwanych wyników. Takie spojrzenie na problem wykazuje szersze, niż tylko teoretyczne, zainteresowanie prognozowaniem. Można w tym zauważyć aspekty bardzo praktyczne – nawiązujące do kosztów i dostępności danych. Ta dostrzeżona perspektywa naukowa i praktyczna ukierunkowania badań jest ważnym atutem zrealizowanej rozprawy doktorskiej.

Do części badawczej rozprawy można zaliczyć kolejne rozdziały od 6 do 12, a rozdział 13 potraktować jako podsumowanie. Należy jednak zauważyć, że o ile rozdziały te są bezpośrednio już związane z przedmiotem autorskich badań, o tyle wprowadzone przez ich treści elementy mają zróżnicowany wpływ w zakresie oryginalności przedstawionych rozwiązań. Należy przez to rozumieć, że przyjęty schemat podjętych działań wpisuje się w typowe postępowanie prowadzone przy realizacji ogólnie pojętych prognoz. Jednak sposób opisu i ilustracje nie pozostawiają wątpliwości, że osiągnięte rezultaty w niniejszym zakresie są wkładem własnym Doktoranta.

W przygotowaniu i analizach Doktorant posłużył się dwoma zbiorami danych i z ich wykorzystaniem podjął się przeprowadzenia dowodu tezy. Opracowanie danych, ocena ich poprawności, anonimizacja, dobór zmiennych podstawowych i dodatkowych, a następnie wykonane badania skorelowania zmiennych i określenie kombinacji danych wejściowych jest przygotowaniem do realizacji zadania prognozowania. Opis tych kroków, zakończony doбором wykorzystywanych w badaniach metod prognostycznych świadczy o dobrym przygotowaniu Autora do realizacji tego typu zadań analitycznych. Dodatkowo pozwala na rozpoznanie warsztatu badawczego oraz ocenę umiejętności sformułowania założeń dla podejmowanych kroków analitycznych. Umiejętności te, na podstawie przedstawionej

rozprawy oraz umieszczonych dodatkowo załączników można ocenić jako znaczące, przy jednoczesnym zwróceniu uwagi na elastyczność dopasowania prac względem założonego celu.

W zakresie samych działań metodycznych i analitycznych Doktorant określił założenia dla budowanego zadania prognozowania obszarowego salda energii elektrycznej. Przyjęte założenia pozwoliły na opracowanie modeli i porównanie ze sobą w podejściu punktowym i obszarowym. Z uwagi na praktyczne zastosowania Autor przeprowadził i opisał analizę wrażliwości wpływu dobieranych parametrów modeli na jakość wyników. Można zatem przyjąć, że w zamyśle było zoptymalizowanie nakładu pracy przy uzyskiwaniu akceptowalnego poziomu dokładności. Do dodatkowych podjętych zagadnień badawczych, rozwijających samo zadanie prognozowania, warto zaliczyć zaproponowane rozwiązanie systemu ekspertowego korekt prognoz sald energii. Znaczenie tych korekt i wyciągane wnioski pozycjonują dalszy praktyczny aspekt badań ukierunkowany na podniesienie jakości prognozowanych sald energii oraz na konfrontację podejść hierarchicznych o kierunku bottom-up i top-down. Również w tym obszarze Doktorant zbadał możliwości rozdziału salda energii w obszarze nadrzędnym (zwanym superobszarem) na obszary składowe (zwane obszarami). Formułując ten problem poszukiwał odpowiedzi na pytanie czy możliwym jest względnie proste uzyskanie prognozy zmiennej obszarowej przy znajomości prognozy zmiennej superobszaru.

Przytoczone powyżej kierunki podjętych przez Doktoranta badań, opisywane w kolejnych rozdziałach rozprawy są zgodne z postawionym celem i tezą pracy. Wypełniają one założony zakres i szeroko wychodzą poza samo zagadnienie prognozowania. Świadczą również o dobrym przygotowaniu i umiejętnościach budowy koncepcji i realizacji rozwiązań problemów analitycznych, a także wskazują potrzeby szerszego, niż tylko osiągnięcie wyniku, zgłębienia postawionego zadania.

Opracowane przez Doktoranta modele, zadania i wyciągnięte wnioski przedstawione w szczególności w rozdziale 6 oraz w rozdziałach 9 do 12 rozprawy stanowią dorobek autorski.

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

- rozpoznaniem i wiedzą teoretyczną w zakresie znajomości metod i modeli prognostycznych,
- umiejętnością przygotowania, opisu i prezentacji rozległych zbiorów danych,
- umiejętnością wykorzystania wybranych modeli prognostycznych, budową i strojeniem,
- umiejętnością tworzenia koncepcji badawczych wokół zadania prognostycznego, poszukując rozwiązań o wyższych wskaźnikach jakościowych,
- umiejętnością wnioskowania na podstawie uzyskanych wyników, a w szczególności rozumieniem potrzeb prowadzenia badań i poszukiwania odpowiedzi.

Uzyskane przez Doktoranta wyniki wypełniają postawiony w rozprawie cel oraz pozwalają na dowiedzenie postawionej tezy.

## 6. Kwestie dyskusyjne

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej nasunęło się kilka spostrzeżeń, które traktuję jako kwestie dyskusyjne o charakterze ogólnym.

1. Przedmiotowa rozprawa doktorska skupia się na obszarowym prognozowaniu bilansów energii elektrycznej. Wynika to z tytułu rozprawy, celu, tezy i zakresu. Zatem bardzo ważnym pojęciem staje się zdefiniowanie i jednoznaczne rozumienie „obszaru”. W krótkim zapisie na str. 85 pojawia się określenie „obszar [...] należy rozumieć jako stację WN/SN, powiązaną z danym obszarem przestrzeni wraz z jej podłączeniami”. W moim przekonaniu taki zapis budzi dużo wątpliwości. W porównaniu do objętości pracy Autor stanowczo zbyt mało rozważył i wyjaśnił problematykę „obszaru” dla potrzeb realizacji tytułowego prognozowania. Wskazanym byłoby przemyśleć i przedstawić różne przypadki, z którymi można spotkać się w rzeczywistości, a które będą mieściły się i tworzyły ramowo ściśle postawioną definicję „obszaru”.
2. Również bardzo ważnym dla przedstawianych w pracy treści jest pojęcie „bilansu obszaru”. W rozprawie przewija się pojęcia „bilansu” i „przepływu” bądź „wymiany”. Wydaje się, że pojęcia te czasem są traktowane zamiennie. Uważam jednak, że pojęcie „bilansu” jest wystarczające dla przedstawianych potrzeb. Pozostałe pojęcia mają różnie określone zwyczajowe rozumienia i bez precyzyjnego zdefiniowania sytuacji i zasad mogą być nieprawidłowo rozumiane. Dodam, że schemat sytuacyjny wprowadzony na rys. 6.1 nie wyjaśnia nasuwających się wątpliwości. Niestety, również równania (6.1) oraz (6.2) nie spełniają zasady równania bilansowego. W równaniu bilansowym mamy do czynienia z energią wprowadzoną (wejścia), odebraną (wyjścia) i stratami. W przytoczonych równaniach, jak i w całej pracy nie porusza się tematu strat, a przy przyjęciu zapisu (6.2) straty mogą istotnie zmienić jakość określanego bilansu, będąc funkcją wielu czynników (czasu, obciążeń gałęziowych, rozmiaru obszaru, gęstości infrastruktury, itd.). Podobnie pojawia się pytanie, dlaczego w bilansie występują tylko źródła odnawialne? Czy w obszarze nie ma źródeł nieodnawialnych? Jakie tu przyjęto założenia?
3. Przedstawiane rozważania koncentrują się przede wszystkim na źródłach i prognozach wytwarzania. W rozumieniu bilansu, o którym mowa w pkt. powyżej występuje jeszcze pojęcie „zapotrzebowania”. W moim odczuciu prognoza obszarowa zapotrzebowania została potraktowana marginalnie. Brak jest przedstawionych mechanizmów odniesienia się do rozkładu przestrzennego zapotrzebowania, powiązania tego rozkładu z rozłożeniem źródeł i występujących tu korelacji jednoczesności produkcji i zużycia zmieniających się w funkcji czasu. Brak tych rozważań uważam za mankament całościowego spojrzenia na prognozę i jej model w ujęciu obszarowym.
4. Zagadnienia wprowadzające do przedmiotu rozprawy doktorskiej zawarto w rozdziałach 2 do 4. Prezentowane w tych rozdziałach treści są ważne dla dalszego zrozumienia treści rozprawy, niemniej w moim przekonaniu zabrakło pewnej systematyki prowadzonych tu rozważań oraz wniosków istotnych dla dalszej części pracy. Przykładowo w rozdziale 2, gdzie przeplata się przedmiot prognozy: generacja/zapotrzebowanie – można byłoby, w ramach systematyki, je rozdzielić. Również przeprowadzony przegląd nie prowadzi do finalnych wniosków, czy podsumowań stawianych dla potrzeb niniejszej rozprawy. Brak w tym zakresie systematyki (poza przedstawieniem literaturowym) akceptowanej przez Doktoranta

dla potrzeb pracy i jej uzasadnienia. Podobnie sytuacja dotyczy szerokiego przeglądu modeli, który jest ciekawy, ale ze względu na zakres bardzo pobieżny i nie ma wspólnych cech (np. podsumowania w postaci tabeli z zebraniem modeli i porównaniem), co nie pozwala uzasadnić dlaczego do dalszej części wybrano tylko dwie metody MLP i LSTM.

5. Wartość prognozowania dla ciągłego działania systemu i spełniania jego zadań jest niepodważalna. W rozprawie przewija się sporo pojęć (jeszcze poza przytoczonymi powyżej) bliżej niesprecyzowanych, a tym samym sprawiających wrażenie przypadkowych. W tezie rozprawy pojawia się pojęcie „bezpieczeństwo systemu prognoz”. Warto przedstawić, co oznacza takie pojęcie bezpieczeństwa, do kogo/czego jest kierowane i jakie są jego miary. Warto również podjąć dyskusję w kontekście bezpieczeństwa na temat współzależności prognoz i mechanizmu oparcia się na wynikach prognoz wielkości źródłowych (np. prognoza czynników meteorologicznych – prognoza wiatru – prognoza generacji – prognoza bilansu) a także rozwiązań alternatywnych.

Poza kwestiami ogólnymi nasuwa się kilka kwestii o charakterze szczegółowym. Poniżej wymieniono wybrane.

- i. W rozprawie wielokrotnie używa się swobodnie (i zamiennie) określeń: moc, energia, prędkość wiatru. Wzajemne związki pomiędzy tymi wielkościami nie pozwalają na zamienne ich traktowanie (przykład w rozdziale 4.1.2).
- ii. Opisując przykładowe rozwiązania dla prognozy obszarowej produkcji energii elektrycznej z elektrowni wiatrowych (str. 67) wskazanym byłoby rozróżnić prognozę produkcji z: turbiny / farmy wiatrowej / regionu z farmami wiatrowymi. Pochylenie się nad tym rozróżnieniem wydaje się być istotne nie tylko z perspektywy przytoczonego przykładu ale również dla realizacji celu rozprawy. Podobnie warto przedstawić propozycję rozwiązania dla produkcji z elektrowni fotowoltaicznej.
- iii. Proszę o wyjaśnienie rys. 6.2. Co oznacza zdanie poprzedzające „uzgodnienia prognoz [...] zostały pokazane w swoim sposobie działania na rys. 6.2”.
- iv. Jakie jest uzasadnienie prezentacji danych równocześnie za pomocą wykresów skrzypcowych oraz histogramów (str. 94 i nn)?
- v. Czy możliwe jest, wprowadzając markery czasowe dla okresu roku, zbadanie długookresowego trendu wieloletniego przy zbiorze danych obejmującym dwa lata (str. 106)?
- vi. Wybór metody XGBoost został oparty na „wcześniejszych doświadczeniach profesjonalnych Autora” (str. 120). Czy można przybliżyć uzasadnienie tego wyboru z uwagi na brak opisu tych doświadczeń?
- vii. Na str. 121 wskazuje się, że przegląd zupełny kombinacji hiperparametrów zawężono do „pewno wybranego zakresu”. Jaki to zakres i jak należy rozumieć to zdanie?
- viii. Dlaczego dobierając liczbę neuronów w warstwach ukrytych podważa się przykłady literaturowe zastosowań (str. 124)? Może warto zwrócić uwagę na powiązanie z problemem i tą drogą przejść do uzasadnienia.



- ix. Wyniki analiz prognoz na danych testowych wskazały prognozy punktowe jako lepsze w 8 na 10 przypadków (str. 132). Co uzasadnia zatem wniosek ogólny mówiący, że „prognozy obszarowe są skuteczną alternatywą dla prognoz punktowych”?
- x. Proszę o wyjaśnienie rys. 10.1. Jakie ma znaczenie kolorystyka strzałek i bloków? Dlaczego występują takie same bloki decyzyjne? Czy algorytm jest poprawnie przedstawiony?
- xi. Na str. 151 wnioskuje się o modelu porównując „jakość do prostoty”. Czy w tym zakresie wnioskowania na tle wyników, o jakości nie decyduje przewaga źródeł OZE określonej technologii (str. 154)?
- xii. Jak należy rozumieć „dobroć parametrów wejściowych” (str. 160)? Pojęcie „dobroć” ma interpretację fizyczną odnosząc się dla układów drgających.
- xiii. Na str. 158 przywołuje się rysunek z załącznika, który nie jest bezpośrednio dostępny (jest na płycie CD). Uważam, że jeśli jest to ważny dla wnioskowania rysunek to powinien znaleźć się w pracy, a nie w załączniku. Dla odmiany rys. 12.1 (str. 159) nie znajduje powiązania z tekstem rozprawy (uważam, że porównawczo skala obu wykresów rys. 12.1 powinna być taka sama).
- xiv. W wielu przypadkach operuje się nietypowymi pojęciami, przykładowo: „moc zbioru domów” (str. 79), „agresywne blokowanie korekt prognoz” (str. 143), „stworzony system nie przynosi strat” (str. 143), „najświeższe wyjścia cofnięte” (str. 168).

Mimo zgłoszonych powyżej kwestii podkreślam, że doceniając pracę włożoną w opracowanie i przedstawienie treści rozprawy doktorskiej zauważam, że w wielu miejscach prezentowane treści mogą budzić wątpliwości u czytelnika.

## 7. Ocena redakcji rozprawy

Redakcja i struktura rozprawy jest właściwa dla tego typu prac. Sama rozprawa jest bardzo obszerna, a dodatkowo sporą część wyników zamieszczono w załączniku. Rozwiązanie tego załącznika w formie płytki CD jest wygodnym sposobem przekazu danych, niemniej nie może warunkować treści samej rozprawy. Oznacza to, że przywoływanie danych z załącznika, który nie jest bezpośrednio dostępny (jako drukowany będąc częścią pracy) utrudnia weryfikację. Tym bardziej, że taki załącznik nie jest integralną częścią pracy.

Dodatkowo, przy takiej formie załącznika można było wprowadzić, obok spisu tabel i rysunków, spis załączników (w rozprawie jest taka wyróżniona sekcja, jednak brakuje w jej treści tytułowego spisu) bądź swoisty przewodnik po załączniku.

Pierwsza część pracy, oparta na studium literaturowym, jest ważnym elementem wprowadzającym (por. pkt. 5 recenzji) niemniej jednak uważam, że w szerokiej formie opisowej informacje te mogłyby znaleźć się w załączniku, natomiast w pracy powinna znaleźć się synteza przeprowadzonego przeglądu rozwiązań i metod oraz wnioski w tym zakresie.

Na wstępie rozprawy umieszczono wykaz ważniejszych oznaczeń, który okazuje się bardzo przydatny, w szczególności w powiązaniu z opisem metod i modeli prognostycznych. Jednak oprócz spisu oznaczeń (skrótów) można dodatkowo zestawić oznaczenia przyjęte w trakcie realizacji pracy do opisu zmiennych i wykorzystywanych wielkości fizycznych.

W rozprawie wyjaśniono kilka (cztery) pojęć stosowanych podczas opisu metod prognozowania (rozdz. 3.1), jednak wybrane pojęcia są dość typowe, a wśród opisywanych zabrało wielu charakterystycznych dla metod prognozowania, a używanych specjalistycznie.

Redagując niektóre rozdziały (przykładowo rozdziały 11.2 i 11.3) umieszczono w nich wyłącznie tabele z danymi. Uważam, że tabele nie powinny stanowić jedynej zawartości rozdziału, a powinny zostać opatrzone opisem i zostać powiązane z dodatkowymi treściami rozdziału.

Na wstępie rozprawy brakuje krótkiej charakterystyki rozdziałów i wyjaśnienia logiki ich układu. Taki opis podkreśla zwykle spójną myśl i wyjaśnia zamiary Autora.

W redakcji rozprawy można spotkać błędy literowe, stylu czy pewne nieściśłości zwrotów. Ich usunięcie zwykle możliwe jest w ramach tzw. redakcji końcowej. Również można znaleźć nie powiązane z tekstem rysunki bądź tabele (zaznaczone w egzemplarzu autorskim). Przypadki te jednak nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy.

Należy podkreślić szerokie i aktualne studium literaturowe zestawione w rozdziale Bibliografia. Świadczy to o dobrym przygotowaniu własnym do pracy Doktoranta i o włożonym trudzie w opracowanie bibliografii.

## 8. Podsumowanie i wnioski końcowe

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 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 automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.
4. Po analizie treści rozprawy uważam, że przedłożona rozprawa Pana mgr. inż. Marcina Kopyta pt.: „Prognozowanie obszarowe zapotrzebowania i produkcji energii elektrycznej” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim zawarte w art. 187 ustęp 1 i ustęp 2 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 z późniejszymi zmianami).
5. **Wnioskuje o dopuszczenie mgr. inż. Marcina Kopyta do publicznej obrony recenzowanej rozprawy doktorskiej.**

*Maksymilian Puzgodzi*