

Gdynia, 11 wrzesień 2017 r.

prof. dr hab. inż. Ryszard Strzelecki  
81-226 Gdynia, ul. M. Beniowskiego 5/1

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

magistra inżyniera **Tomasza Rubanowicza**

pt. „**Prognozowanie mocy wytwórczej farmy wiatrowej**”

wykonana na podstawie pisma Dziekana Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej

### **1. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY**

Wraz ze wzrostem mocy źródeł wiatrowych coraz ważniejsze stają się zagadnienia związane z magazynowaniem energii oraz prognozowaniem mocy wytwórczych z tych źródeł. Te problemy stają się istotne w przypadkach dużych farm wiatrowych, których oddziaływanie na system energetyczny jest najbardziej znaczące. W warunkach krajowych szczególną uwagę poświęca się przy tym zagadnieniom prognozowania. Wynika to, po pierwsze, z mniejszych kosztów odpowiednich algorytmów i modeli prognozujących w porównaniu z kosztami inwestycyjnymi magazynów energii, i po drugie, z poziomu rozwoju krajowej energetyki wiatrowej. Stąd też podstawowym celem recenzowanej rozprawy było zbadanie przydatności modeli neuronowych do odtwarzania krzywych mocy wytwórczej farm wiatrowych na potrzeby prognoz krótkoterminowych. Z tego zasadniczego celu wynikają również przedstawione w rozprawie w formie pytań następujące cele szczegółowe (zbieżne z zapytaniami inwestorów): a) wydzielenie czynników mających wpływ na moc generowaną przez farmę, b) przeprowadzenie oceny możliwości estymacji mocy wytwórczej wyłącznie na podstawie prędkości wiatru, c) ustalenie wpływu dodatkowych czynników na estymowaną moc wytwórczą, d) ustalenie adekwatności pomiaru prędkości wiatru z odległego masztu meteorologicznego względem problemu estymacji mocy, e) ocena przydatności heurystycznych modeli estymacyjnych w innej porze roku niż w pora trenowania/uczenia. Postawione cele szczegółowe, wyznaczające strukturę pracy, są w pełni zgodne z celem zasadniczym.

Rozprawa, licząca 105 stron, zawiera 6 rozdziałów łącznie ze wstępem, podsumowaniem i spisem literatury zawierającym 88 pozycji. W szczególności, w rozprawie na podstawie analizy bogatych danych pomiarowych wyjaśniono zależność mocy farmy wiatrowej od warunków wiatrowych. Opierając się na tych danych przeprowadzono również uczenie wyselekcjonowanych dwóch modeli behawioralnych zbudowanych na podstawie rekurencyjnej SSN Elmana, które następnie poddano testom na rzeczywistym obiekcie – farmie wiatrowej. Wyniki analizy danych pomiarowych, oraz uczenia, testowania i oceny

przydatności wybranych SSN jako estymatorów mocy wytwórczej farmy wiatrowej stanowią najważniejszą, a zarazem najobszerniejszą część rozprawy.

## **2. OCENA OGÓLNA**

Rozprawa zawiera bardzo obszerne wyniki badań dwóch reprezentatywnych farm wiatrowych, zarówno pod kątem korelacyjnej analizy danych pomiarowych umożliwiające ocenę wpływu poszczególnych parametrów farmy i warunków pogodowych na moc wyjściową, jak również dopasowania odpowiednich modeli heurystycznych. Doktorant w sposób spójny wskazał i uzasadnił potrzebę opracowania oraz weryfikacji takich modeli. Realizując przedstawiony cel ogólny oraz cele szczegółowe, autor pokazał przy tym możliwości i ograniczenia wynikające z wykorzystania jedno- i dwuwęściowej rekurencyjnych SSN. Na podkreślenie zasługuje przy tym fakt, że zbiory danych wykorzystywane do przeprowadzonych badań zostały trzymane z pomiarów na obiektach rzeczywistych. Pozyskanie tych danych, często konfidencjonalnych, jest wynikiem wieloletniej współpracy doktoranta z wytwórcami energii wiatrowej i stanowi oddzielne osiągnięcie. Dzięki temu uzyskano wiarygodne rezultaty mające silne umocowanie praktyczne. Opracowane modele można w zasadzie bezpośrednio przenieść do wykorzystania na innych farmach wiatrowych.

Uważam, że wydzielony cel ogólny i cele szczególne rozprawy zostały przez doktoranta osiągnięte, choć czasami w sposób niezbyt jasny i w sposób zbyt rozwlekłe opisany. Może to świadczyć o nie opanowaniu przez doktoranta technik pisania rozpraw naukowych, lecz w żaden sposób nie podważa dobrej znajomości problematyki poruszanej w rozprawie, w szczególności od strony praktycznej. Jednocześnie rozprawa wykazała umiejętności autora w zakresie obróbki dużych zbiorów danych za pomocą gotowego oprogramowania, oraz wykorzystania uzyskanych w ten sposób rezultatów w praktyce. Wyniki przedstawionych badań potwierdzają celowość dalszych działań w kierunku wskazanym przez doktoranta.

## **3. UWAGI KRYTYCZNE**

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Tomasza Rubanowicza pt. „Prognozowanie mocy wytwórczej farmy wiatrowej” nasuwają się następujące uwagi krytyczne:

### **Uwagi merytoryczne**

- 1) Prognozowanie mocy wytwórczej, jak słusznie zaznacza autor rozprawy, obejmuje zarówno estymację mocy wytwórczej farmy wiatrowej, jak również prognozę warunków pogodowych, w szczególności prognozę prędkości wiatru. Dokładność prognozowania mocy wytwórczej zależy więc od dokładności dwóch zasadniczo różnych modeli, przy czym, co również zaznacza doktorant, prognoza warunków pogodowych obciążona jest dużym błędem. W tym kontekście, brakuje oceny i

- odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu poprawa dokładności estymatora wpływa na dokładność prognozowania mocy wytwórczej farmy.
- 2) Rozprawa dotyczy zagadnień bardzo istotnych dla funkcjonowania KSE. Uwzględniając przy tym możliwości instalacji w pobliżu farm wiatrowych magazynów energii o względnie niedużej pojemności (tylko łagodzących piki mocy), zasadnym wydaje się estymacja mocy wytwórczej kompleksu farma wiatrowa + magazyn energii. Niestety, sprawa estymacji mocy wytwórczej traktowana jest w rozprawie w sposób typowy, tj. względnie wąsko, bez uwzględnienia możliwości jakie daje instalacja magazynu energii .
  - 3) Brakuje głębszego powiązania z innymi pracami naukowymi prowadzonymi w kraju. Literatura krajowa, poza pracami własnymi autora i dokumentami urzędowymi, zawiera tylko jedną pozycję merytoryczną [85] - rozprawę doktorską, której meritum z uwagi na zbieżność tematyki należało przybliżyć (jedyne odnośnik do poz. [85] na str. 89 jest bardzo ogólny).
  - 4) Uzasadnienie wyboru przyjętej sieci neuronowej Elmana z jednym oraz z dwoma wejściami jest niewystarczające. Samo stwierdzenie (str. 60), że wcześniej przebadano wiele innych struktur SSN to zbyt mało. Brakuje jakiegokolwiek, jakościowego lub ilościowego porównania, które pozwalałoby uznać wybrane SSN za najwłaściwsze.
  - 5) W rozprawie wykazano zasadność stosowania dwóch modeli estymatorów farmy wiatrowej, letniego i zimowego. Nie zbadano jednak przy tym możliwości zastosowania modelu z siecią dwuwejściową, w której na jedno wejście podawana jest prędkość wiatru a na drugie temperatura (lub bezpośrednio wynik pomiaru gęstości powietrza). Wskazane byłyby także badania uwzględniające przyrost prędkości wiatru, co może mieć znaczenie w przypadku podmuchów.
  - 6) Na str. 89 autor stwierdza, że jednym z kryteriów oceny jakości estymacji mocy z farmy jest „*suma mocy w danym okresie, czyli energia*”. Moc i energia to jednak dwie różne wielkości. Ich utożsamianie, choć wynikające najprawdopodobniej z „żargonu” energetycznego, jest nie do przyjęcia w rozprawach naukowych.
  - 7) Na str. 96 autor stwierdza, że w rozprawie zaproponowano metodykę wyboru modelu prognostycznego w oparciu o wybrane wskaźniki jakości. Miary błędu przedstawione w § 4.1 stanowią jednak wyłącznie odpowiednie wskaźniki wyznaczone dla 2 modeli heurystycznych trenowanych dwoma metodami. Przeprowadzone porównanie wartości tych wskaźników trudno jest nazywać metodyką wyboru.

#### **Uwagi redakcyjne**

- 1) Znaczna część rozprawy ma charakter epicki. Doktorant wielokrotnie opisuje/stwierdza jedno i to samo w różnych miejscach. Czytając niektóre fragmenty rozprawy można mieć wrażenie „deja vu”.

- 2) Część wniosków, mimo że intuicyjnie oczywistych, wyciągnięto bez odpowiedniego uzasadnienia.
- 3) W rozprawie występują zbyteczne fragmenty, nie odnoszące się bezpośrednio do meritum zagadnienia, a także stwierdzenia dość trywialne.
- 4) Brakuje wyszczególnionego wkładu własnego i osiągnięć.

#### Uwagi szczegółowe - przykładowe

- 1) Na str. 17, rys.6 – jest „częstotliwość kierunku wiatru” ? Pytanie - czy kierunek ma częstotliwość ?
- 2) Na str. 70 – ostatnie zdanie 1-go akapitu – powtórzenie wyrazów (wklejenie z innego miejsca ?)
- 3) Na str. 93 – autor dwukrotnie odwołuje się do tablicy 10, która nie została zamieszczona w rozprawie
- 4) Na str. 96, w2g – jest „... ciągu uczonego danych...”, powinno być „...ciągu uczącego danych...”
- 5) Występują również inne drobne błędy edytorskie, głównie interpunkcyjne

Wyszczególnione uwagi krytyczne, uwzględniając ukierunkowanie badań i dużą przydatność opracowanych modeli heurystycznych w praktyce farm wiatrowych, nie negują zasadniczej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej jako wystarczająco wartościowej i warunkowo akceptowalnej do publicznej obrony.

#### 4. WNIOSKI

- 1) Doktorant wykazał się wiedzą i dobrym przygotowaniem w zakresie budowy modeli eksperckich oraz odpowiednimi umiejętnościami organizatorskimi związanymi z potrzebą pozyskania dużej ilości, często konfidencjonalnych danych.
- 2) Przedstawione w rozprawie rezultaty eksperymentalne, przydatne do budowy modeli eksperckich farm wiatrowych, cechują się dużym potencjałem praktycznym zarówno dla wytwórców energii elektrycznej jak i operatorów sieciowych
- 3) Rozprawa charakteryzuje się akceptowalnym poziomem merytorycznym i edytorskim.

#### WNIOSEK KOŃCOWY

Uważam, że rozprawa doktorska magistra inżyniera Tomasza Rubanowicza pt. „Prognozowanie mocy wytwórczej farmy wiatrowej” **jest na granicy spełnienia kryteriów i wymagań** stawianych pracom doktorskim w obowiązującej Ustawie o stopniach naukowych. W tym kontekście uważam, że recenzowana rozprawa **może być warunkowo przyjęta i dopuszczona** do publicznej obrony.

