

Poznań, 26 lutego 2021 r.

prof. dr hab. inż. Jerzy MERKISZ
Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu
Politechniki Poznańskiej
tel.: (+48) 61 665-20-04
e-mail: jerzy.merkisz@put.poznan.pl

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. Zdzisława Piotra Kamińskiego pt. „Analiza numeryczno-doświadczalna turbiny wiatrowej o regulowanej powierzchni roboczej”

Podstawa opracowania: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Lubelskiej WM/8/2021 z dnia 22.01.2021, do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

1. UZASADNIENIE PODJĘCIA TEMATU ROZPRAWY

Od 2019 roku lądowa energetyka wiatrowa stała się jednym z najbardziej cenionych odnawialnych źródeł energii na świecie. Jednak sektor morskiej energetyki wiatrowej nabiera tempa na światowym rynku energetyki wiatrowej i oczekuje się, że w najbliższej przyszłości nastąpi jego znaczny wzrost.

Oczekuje się, że moc zainstalowana w elektrowni wiatrowej na świecie wzrośnie przy CAGR o ponad 8%, osiągając moc zainstalowaną równą 1166,73 GW do 2026 r. w porównaniu z wartością 650,54 GW w 2019 r. Zakłócenia w łańcuchu dostaw spowolniły rozwój gospodarczy na całym świecie. To z kolei doprowadziło również do powściągliwego wzrostu rynku, ze względu na opóźnienia w realizacji projektów i brak inwestycji w czasie pandemii. Oczekuje się jednak, że czynniki, takie jak korzystna polityka rządu, rosnące inwestycje w przyszłe projekty związane z energią wiatrową i obniżony koszt energii wiatrowej, który doprowadził do zwiększenia wykorzystania energii wiatrowej, będą napędzać rynek w badanym okresie prognozy. Coraz powszechniejsze stosowanie alternatywnych źródeł energii, takich jak energia z gazu i energia słoneczna, prawdopodobnie zahamuje wzrost rynku.

Rynki wschodzące w Afryce i Ameryce Południowej oferują korzystne możliwości w zakresie transakcji biznesowych dla operatorów projektów energetyki wiatrowej i dostawców sprzętu, ponieważ kraje, w tym Brazylia, RPA, Chile itp., są u progu rozwoju przez co istnieje zwiększony popyt na energię elektryczną, która ma w najbliższej przyszłości zapewnić rynkowe możliwości rozwoju energetyki wiatrowej. Co więcej, duży potencjał

energii wiatrowej, w połączeniu ze spadkiem jej kosztów, prawdopodobnie stworzy szerokie możliwości biznesowe dla rynku w najbliższej przyszłości. Azja i Pacyfik to jeden z najbardziej dojrzałych i konkurencyjnych regionów na rynku energii wiatrowej, z dużym popytem ze strony Chin.

W świetle analizy międzynarodowych dokumentów i światowej literatury zagadnienia uważam, że rozprawa mgr. inż. Piotra Kamińskiego jest oryginalnym osiągnięciem Autora i wnosi wartościowe elementy w nurt badań nad rozwojem nowych typów elektrowni i możliwości ich regulacji. W rozprawie podjęto bardzo aktualny i ważny z praktycznego punktu widzenia problem analizy, oceny i doboru parametrów turbiny wiatrowej Savoniusa o regulowanej powierzchni roboczej. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska bardzo dobrze wpisuje się w aktualny nurt badań nad środkami technicznymi dla wykorzystania energii wiatrowej.

Podjęta w pracy tematyka jest istotna ze względów ekonomicznych i ochrony środowiska naturalnego. Jednocześnie, z powodu dużego nacisku przez społeczeństwa, problem ten jest rozwiązywany przez bardzo dużą liczbę ośrodków naukowych, badawczych i przemysłowych. Duża liczba publikacji ukazujących się na całym świecie wskazuje na ogromną konkurencję. Nie ulega zatem wątpliwości, iż tematyka ocenianej rozprawy, jej cele i zakres są wybrane wyjątkowo trafnie i to zarówno ze względu na aspekt naukowy, jak i użytkowy.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy 93 strony. Jest podzielona na 7 zasadniczych rozdziałów obejmujących również wykaz ważniejszych oznaczeń, podsumowanie i wnioski oraz spis literatury. Bibliografię stanowi 89 pozycji, a także wiele pozycji internetowych i materiałów firm oraz organizacji.

Oceniana praca dotyczy analizy numeryczno-doświadczalnej turbiny wiatrowej o regulowanej powierzchni roboczej. W celu realizacji powyższego zadania przeprowadzono badania numeryczne, symulacyjne i stanowiskowe oraz analizę otrzymanych wyników.

Przyjmując, że rozdziały 1–7 stanowią zasadniczą część rozprawy, stwierdzam, że proporcje pomiędzy jej częściami merytorycznymi są prawidłowe. Treść pracy nawiązuje w sposób właściwy do jej tytułu, a rozdziały stanowią spójną całość, dając syntetyczny pogląd na rozważane problemy naukowe. W części teoretycznej pracy, opartej na przeglądzie literatury, scharakteryzowano wybrane rodzaje turbin wiatrowych, pokazano ich wady i zalety.

Praca dotyczy analiz i badań nad innowacyjną turbiną wiatrową o osi pionowej. Zaproponowana autorska zmiana może być traktowana jako modyfikacja klasycznej konstrukcji turbiny Savoniusa. Autor zmodyfikował ją i zaproponował podział łopat na górne i dolne. Ten podział umożliwia regulowanie kąta wzajemnego położenia górnych i dolnych łopat roboczych, usytuowanych na osi mocującej. To rozwiązanie pozwala uniknąć przekroczenia dopuszczalnych naprężeń mechanicznych konstrukcji w sytuacji niebezpiecznie dużej prędkości wiatru. Wtedy łopaty zbliżają się do siebie, zmniejszając wypadkowy moment obrotowy.

Celem pracy było uzyskanie charakterystyki wpływu kąta rozwarcia łopat turbiny na współczynnik szybkobieżności, dzięki przeprowadzeniu badań zjawisk przepływowych

zachodzących przy opływie łopatek wirnika turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu. W rozprawie sformułowano następującą tezę: kąt rozwarcia łopatek turbiny o regulowanej powierzchni roboczej wpływa w istotny sposób na wartość optymalnego współczynnika szybkoobrotowości.

Autor zbudował model matematyczny tego typu turbiny, który zweryfikował badawczo w dwóch etapach. Pierwszym etapem były badania numeryczne przepływu. Przeprowadzono wiele symulacji dla kilku kombinacji wartości kąta wzajemnego położenia łopatek i kilku wartości prędkości wiatru. Dla każdej z tych kombinacji zadawano kilkanaście wariantów obciążenia prądnicy turbiny dla ustalenia się kilkunastu wartości prędkości obrotowej turbiny. Dzięki temu zbadano wpływ zadanej prędkości obrotowej na moc wyjściową turbiny, co pozwoliło na wyznaczenie prędkości obrotowej, przy której moc turbiny osiąga maksimum dla zadanej prędkości wiatru. Na podstawie analizy wyników badań stwierdzono istotny wpływ kąta położenia łopatek roboczych na wartość pożądanego wyróżnika szybkoobrotowości.

W tunelu aerodynamicznym przeprowadzono badania eksperymentalne, których zakres odpowiadał wcześniejszym badaniom numerycznym. Dla każdego punktu pomiarowego charakteryzowanego przez kąt położenia łopatek, wyznaczano prędkość wiatru i prędkość obrotową turbiny z uwzględnieniem 30 powtórzeń, celem uzyskania odpowiedniej miarodajności statystycznej danych niezbędnych dla analizy błędów pomiarowych. Wyniki badań stanowiskowych potwierdziły wcześniejsze wyniki badań symulacyjnych. Udowodniono tym samym tezę, że największa moc turbiny jest osiągana dla prędkości obrotowej zależnej od kąta położenia łopatek badanej turbiny.

3. OCENA ROZPRAWY

Uwagi ogólne

Pod względem merytorycznym i metodycznym pracę oceniam wysoko – zawiera ona nieliczne niedociągnięcia, błędy i usterki, które nie rzutują na ogólną ocenę pracy. Układ logiczny rozprawy odpowiada tokowi przeprowadzanych analiz i badań oraz jest typowym, klasycznie prawidłowym metodycznie ciągiem czynności badawczych, zapewniającym klarowny układ treści pracy bez luk i powtórzeń. Na podkreślenie zasługuje bardzo aktualny wybór tematu rozprawy i wynikający z tego jej zakres. Autor przeprowadził eksperymenty, mające zarówno wartość naukową jak i użyteczną.

Stwierdzam, że zarówno materiał badawczy jak i literaturowy został przez Autora rozprawy wykorzystany poprawnie. Na podstawie treści pracy można w sposób jednoznaczny ocenić wkład własny Doktoranta. Zawarte w pracy wyniki badań i analiz wskazują na rzetelność i dociekliwość badawczą Autora. Przedstawioną do oceny pracę można uznać za oryginalne dzieło o dużym znaczeniu dla oceny możliwości sterowania powierzchnią roboczą turbiny wiatrowej, a podjętą w pracy problematykę za aktualną, ciekawą i istotną.

Główne osiągnięcia rozprawy to:

- Modyfikacja klasycznej konstrukcji turbiny Savoniusa, polegająca na podzieleniu łopat na górne i dolne, a następnie regulowaniu kąta wzajemnego położenia górnych i dolnych łopat roboczych, usytuowanych na osi mocującej.
- Realizacja następującego szeregu zadań badawczych:
 - opracowanie modelu matematycznego i geometrycznego turbiny wiatrowej o regulowanej powierzchni roboczej,
 - przeprowadzenie badań symulacyjnych przepływu i opływu powietrza wokół powierzchni roboczych turbiny,
 - opracowanie stanowiska badawczego z wykorzystaniem tunelu aerodynamicznego,
 - przeprowadzenie badań stanowiskowych turbiny,
 - porównanie wyników badań doświadczalnych i symulacyjnych.
- Na podstawie powyższych badań stwierdzono adekwatność opracowanego modelu matematycznego turbiny.

Oprócz wymienionych wyżej osiągnięć, także inne elementy pracy stanowią o jej dużej wartości merytorycznej. Na uwagę zasługują w szczególności następujące jej elementy:

- uzasadnienie podjęcia tematu, które wynika z wnikliwej analizy stanu wiedzy,
- trafne zdefiniowanie przedmiotu badań i celu rozprawy,
- wysoki poziom merytoryczny pracy i obeznanie Autora z rozważaną tematyką,
- oryginalne i bardzo ciekawe wyniki badań,
- przejrzysta i logicznie ułożona struktura pracy.

Uwagi krytyczne:

Po zapoznaniu się z treścią pracy chciałbym podjąć polemikę z Autorem nad stosowanym przez Niego pojęciem „optymalizacja”, używanym w znaczeniu popularno-naukowym. A przecież, według definicji, optymalizacja [łac. Optimus – najlepszy], to wyznaczenie najlepszego rozwiązania jakiegoś zadania (np. techn., ekon., społ.) ze względu na przyjęte kryterium (wskaźnik specyficznie rozumianej jakości, np. koszt, zysk, niezawodność, dokładność, czas realizacji zadania), przy uwzględnieniu istniejących ograniczeń. Zatem optymalizacja jest to zagadnienie matematyczne, w którym należy zdefiniować kryterium optymalizacji, funkcje celu, funkcje kary itd., a tego Autor nie zrobił.

W rozdziale 2.5 na 4,5 stronach tekstu Autor używał pojęcia „optymalna wartość wyróżnika szybkobieżności” aż 15 razy, przy czym nie definiując precyzyjnie czym jest współczynnik szybkobieżności turbiny wiatrowej. Ponadto, Autor użył w tezie pojęcia „wartość optymalna współczynnika szybkobieżności”, ze względu na co? – sprawność energetyczną? Zatem teza jest niejednoznaczna.

Oprócz wyżej wymienionych uwag, podczas lektury pracy nasunęły mi się następujące sugestie i spostrzeżenia:

1. Bardziej przejrzysty byłby układ, w którym wnioski z pracy byłyby przedstawione w następującej konfiguracji:
 - wnioski ogólne (czy zrealizowano cel pracy i czy udowodniono tezę itp.),
 - wnioski szczegółowe,
 - wnioski metodyczne,

- wnioski użytkowe,
 - wnioski perspektywiczne (kierunki dalszych badań).
2. Praca jest napisana w sposób staranny, poprawnym językiem i wydana bardzo starannie edytorsko. Zdarzają się w niej jednak drobne usterki techniczne, takie jak:
- Widoczny tzw. „tekst wiszący” – czyli nienumerowany tekst pomiędzy podrozdziałem 2.3 a 2.3.1, ten fragment tekstu powinien mieć numer podrozdziału,
 - We wzorze (2.2) – brakuje gęstości „ ρ ”,
 - Używanie popularnych (w gazetach) i nieprecyzyjnych określeń, np.: ekstremalnie, radykalnie, względnie małe, trochę większe, maszyna bardzo proste, niewielkiej mocy, stosunkowo małe, generalnie mniejsze,
 - Wykres pokazuje – powinno być na rysunku pokazano; rysunek przedstawia – na rysunku przedstawiono,
 - Rysunki 6.5 i 6.6 przedstawiają w formie graficznej,
 - Zostały przedstawione – lepiej przedstawiono.

Podsumowanie oceny merytorycznej

Mimo powyższych uwag i sugestii, niektórych dyskusyjnych, bardzo wysoko oceniam poziom merytoryczny rozprawy i to zarówno ze względu na intelektualny wkład Autora, jak i na zakres włożonej przez Niego pracy. Uwagi te nie umniejszają mojej wysokiej oceny pracy.

Za najistotniejsze osiągnięcia Doktoranta uważam:

- Bardzo szczegółową analizę problemu badawczego na podstawie dostępnej literatury i wyciągnięcie z niej konstruktywnych wniosków, pozwalających na znalezienie swojego obszaru badawczego.
- Współautorstwo patentu dotyczącego wirnika o regulowanym położeniu łopatek roboczych, będącym rezultatem dysertacji.
- Zmiana powierzchni roboczych łopatek stanowi mechanizm regulacji, który zabezpiecza konstrukcję turbiny przed zniszczeniem w czasie występowania większych od dopuszczalnych prędkości wiatru (w tym przypadku powierzchnia robocza jest zredukowana do minimum). Natomiast zwiększanie powierzchni roboczej łopatek (zwiększanie kąta rozwarcia łopatek) zapewnia maksymalizację mocy w warunkach małych prędkości wiatru. Regulacja położenia łopatek nie dopuszcza do zniszczenia elementów składowych turbiny skutkiem oddziaływania wiatru o zbyt dużej prędkości przepływu.
- Koncepcja sterownika mocy turbiny wiatrowej, który podczas jej działania dopasowuje obciążenie mechaniczne turbiny (obciążenie elektryczne generatora energii elektrycznej), tak aby prędkość obrotowa rotora gwarantowała maksymalną moc wyjściową turbiny.
- Cel wdrożeniowy algorytmu sterowania turbiną, polegający na maksymalizacji współczynnika mocy dzięki precyzyjnemu doborowi prędkości obrotowej wirnika turbiny w zależności od prędkości wiatru i kąta rozwarcia łopatek wirnika.

Autor w dysertacji podjął się wyjątkowo trudnego i ambitnego zadania, które z oczywistych względów nie wyczerpuje całości zagadnień związanych z oceną możliwości sterowania powierzchnią roboczą turbiny wiatrowej Savoniusa dla zapewnienia jej efektywności energetycznej. Zagadnienie opisywane w pracy jest skomplikowane ze względu

na dużą liczbę czynników mających wpływ na badane zjawiska. Należy przy tym zaznaczyć, że obecny stan wiedzy o niektórych czynnikach jest niewystarczający do pełnego ustalenia ich wpływu, stąd też tylko wybrane czynniki należy brać pod uwagę, dając możliwość uzupełnienia ich w dalszej pracy badawczej. Wynika z tego konieczność dalszych badań i analiz.

4. PODSUMOWANIE I KONKLUZJA

Na podstawie analizy przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej stwierdzam, że:

- Autor dokonał wyjątkowo trafnego wyboru tematyki swojej pracy, a jej zakres spełnia wymagania określone dla prac naukowych na poziomie rozpraw doktorskich,
- zasadnicze cele pracy zostały osiągnięte w zakresie przyjętym przez Doktoranta, a prezentowane wyniki są uzyskane w poprawnie przeprowadzonych studiach i eksperymentach własnych oraz mogą służyć do dalszych prac,
- formalny układ pracy jest prawidłowy,
- dysertacja dobrze nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, a w niektórych elementach wnosi do nich nowe treści,
- znaczna akumulacja należycie ustalonych faktów sprawia, że zostało spełnione kryterium logicznej poprawności pracy.

Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych i wskazują na Jego dużą wiedzę ogólną oraz umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej „Inżynieria mechaniczna”, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą.

Stwierdzam zatem, że praca mgr. inż. Zdzisława Piotra Kamińskiego pt. „Analiza numeryczno-doświadczalna turbiny wiatrowej o regulowanej powierzchni roboczej” (promotor: prof. dr hab. inż. Mirosław Wendeker) spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.), a Autor może być dopuszczony do jej publicznej obrony.

