

## **Recenzja pracy doktorskiej**

**mgra inż. Jana Michny**

pt.: „Modelling of laminar-to-turbulent transition and laminar separation bubbles using Computational Fluid Dynamics methods in the case of aerodynamic analysis of a laboratory-scale Vertical-Axis Wind Turbine”

Recenzja pracy doktorskiej została przygotowana na podstawie uchwały Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej nr 300/III-IM/2026 z dnia 11.03.2026 oraz pisma nr RND.IM.521.2.2026, przesłanego przez Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, Pana dr. hab. inż. Marka Wojtyrę, prof. uczelni. Promotorem pracy doktorskiej jest Pan dr hab. inż. Krzysztof Rogowski, prof. uczelni.

### **1. Wstęp**

Pierwsze próby generowania energii elektrycznej przy wykorzystaniu turbin wiatrowych miały miejsce pod koniec XIX wieku, ale do lat 80-ych XX wieku konwersja energii wiatrowej w energię elektryczną nie była uznawana za jedną z bardziej obiecujących technologii produkcji energii. Jednak w ostatnich dziesięcioleciach nastąpił wyraźny rozwój energetyki wiatrowej i obecnie ona pokrywa ok. 11% (World Wind Energy Association Annual Report 2025) globalnego zapotrzebowania, natomiast w Europie ten udział stanowi 20%. Należy podkreślić, że produkcja energii z wiatru jest realizowana głównie przy wykorzystaniu turbin o osi poziomej, a zakres instalowanej mocy jest zależny od lokalizacji oraz środowiskowych i technologicznych ograniczeń. Można zdecydowanie stwierdzić, że obserwuje się ciągły wzrost mocy i rozmiarów turbin (tzw. upscaling). Średnice obecnie instalowanych turbin w morzu przekraczają 220 m, moce sięgają 15MW, a trend wzrostowy wciąż się utrzymuje. Turbiny wiatrowe o osi pionowej (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine) były wielokrotnie rozważane dla farm morskich, ale w praktyce wciąż dominują turbiny o osi poziomej. Wśród podstawowych przyczyn należy wymienić niższy współczynnik wykorzystania wiatru, silnie zmienne obciążenia łopat wynikające ze specyfiki pracy wirnika oraz trudności związane ze skalowaniem do dużych mocy, co wynika z narastających problemów zmęzeniowych przy rosnących rozmiarach. Niewątpliwą zaletą turbin o osi pionowej jest brak konieczności ustawienia wirnika do kierunku wiatru, co buduje ich przewagę nad turbinami o osi poziomej gdy rozważane są lokalizacje o silnie zmiennych kierunkach wiatru, np. lokalizacje miejskie.

Ogólnie można stwierdzić, że turbiny wiatrowe pracują w niestacjonarnych warunkach napływu, ponieważ prędkość wiatru w atmosferycznej warstwie przyściennej podlega ciągłym zmianom. Jednak ze względu na specyfikę konstrukcji turbin o osi pionowej, a w szczególności turbin Darrieusa ta niestacjonarność jest szczególnie. Podczas jednego obrotu każda łopata

(profil) pracuje w bardzo szerokim zakresie kątów natarcia i prędkości napływu. Tak zmienne warunki są przyczyną silnie zmiennych warunków opływu profilu, a co za tym idzie, rozwojem warstwy przyściennej, położeniem przejścia laminarno-turbulentnego oraz oderwania warstwy, które jest podstawowym elementem struktury przepływu wokół takiej łopaty. W efekcie, w ramach jednego obrotu obserwuje się zmianę sił działających na profil, co wpływa nie tylko na sprawność procesu konwersji energii kinetycznej wiatru na energię elektryczną, ale także na obciążenia dynamiczne, prowadzące do obniżenia trwałości lub uszkodzenia łopat.

Pan mgr inż. Jan Michna w swojej pracy skoncentrował się na modelowaniu i badaniu wpływu położenia przejścia laminarno-turbulentnego na charakterystykę aerodynamiczną łopat turbin z uwzględnieniem ich pracy z zakresie niskich liczb Reynoldsa. Wobec czego można stwierdzić, że tematyka badawcza wpisuje się w obecne trendy badań w zakresie aerodynamiki turbin wiatrowych.

## **2. Charakterystyka pracy i uwagi ogólne**

Praca doktorska Pana mgra inż. Jana Michny została napisana w języku angielskim i jest zredagowana na 280 stronach. Rozprawa oparta jest na 7 artykułach, których Doktorant jest współautorem, a pierwszym autorem w czterech artykułach. Materiał prezentowany w pracy ujęto w 4 rozdziałach. Pierwszy rozdział zawiera przegląd literatury. Rozdział drugi i trzeci stanowi przewodnik po serii opublikowanych artykułów, zawierający skrótowe omówienie wyników oraz podkreślający ich istotę i znaczenie w kontekście kolejnych prac. Podsumowanie zawarto w rozdziale czwartym. Ta część pracy (cztery rozdziały) zawarta jest na 70 stronach, a artykuły zostały zamieszczone w załączniku A. Ponadto w materiale znajdują się dwa załączniki: B zawierający deklaracje potwierdzające określony zakres prac współautorów artykułów zamieszczonych w rozdziale piątym oraz C zawierający 3 artykuły, które jak podaje Doktorant nie są częścią pracy. W pracy brakuje wyjaśnienia dlaczego te prace nie są częścią rozprawy, skoro zagadnienia w nich poruszane są ściśle związane z omawianymi zagadnieniami. A jeśli nie są częścią pracy, to dlaczego zostały zamieszczone w załączniku. Spis literatury oraz spis rysunków zamieszczono za rozdziałem 4.

Artykuły stanowiące podstawę pracy doktorskiej zostały opublikowane w czasopismach: Energy, Energies (3 artykuły), Advances in Science and Technology Research Journal (2 artykuły) i Processes .

Rozdział pierwszy składa się z pięciu części. W pierwszej, krótko, bo na dwóch stronach Doktorant przedstawił motywację zrealizowanych badań. W kolejnych podrozdziałach znalazły się informacje o lukach i wciąż otwartych pytaniach w dotychczas prowadzonych badaniach, hipotezy badawcze oraz „New testable predictions”, co rozumiem jako nowe hipotezy/przewidywania możliwe do empirycznej weryfikacji. W ostatniej części tego rozdziału, Doktorant przedstawił strukturę pracy.

Listę zagadnień badawczych, które Doktorant wymienił jako zagadnienia formułujące zakres pracy tworzą:

- A. Wpływ niskiej liczby Reynoldsa na charakterystyki aerodynamiczne profili o zwiększonej grubości.
- B. Wpływ intensywności turbulencji na charakterystyki aerodynamiczne profili.
- C. Złożoność przepływu w turbinach o osi pionowej (Vertical Axis Wind Turbine) wymaga modeli o lepszej dokładności.
- D. Istnieje konieczność pogłębienia wiedzy o oderwaniu w laminarnej warstwie przyściennej i położeniu przejścia w turbinach VAWT.
- E. Wpływ taśmy turbulizujących (zig-zag tape) na charakterystykę VAWT.
- F. Metody szacowania kątów napływu wymagają rozwoju.

- G. Granice stosowalności modelu turbulencji SST z przejściem laminarno-turbulentnym w analizie VAWT nie są znane.
- H. Zmniejszenie różnic pomiędzy modelowaniem 2D i 3D wymaga większego zakresu badań.
- I. Ograniczona ilość danych z badań tunelowych charakterystyk aerodynamicznych profili dla VAWT.

Na tej podstawie sformułowano 3 hipotezy:

1. Taśma turbulizująca typu zig-zag wpływa na charakterystyki aerodynamiczne poprzez eliminację oderwania laminarnego, a zatem wpływa na zmianę obciążenia łopat i ślad aerodynamiczny VAWT.
2. W zakresie niskich liczb Reynoldsa, liczba Reynoldsa znacząco wpływa na charakterystyki aerodynamiczne profilu i współczynnik mocy VAWT. Wpływ intensywności turbulencji jest obserwowalny, ale mniejszy niż wpływ liczby Reynoldsa.
3. Charakterystyki obciążeń statycznych i dynamicznych są silnie zależne od oderwania laminarnego i położenia przejścia laminarno-turbulentnego (L-T).

W zasadzie wszystkie trzy są bezpośrednio sprzężone i być może mogłyby zamknąć się w jednym sformułowaniu np. „Liczba Reynoldsa oraz oderwanie laminarne i położenie przejścia laminarno-turbulentnego wpływa na charakterystyki aerodynamiczne profilu oraz współczynnik mocy VAWT”.

W dalszej części tego rozdziału wymienione są poszczególne zagadnienia związane ze sformułowaniem hipotezami. Te zagadnienia są ponumerowane i powiązane z artykułami, które są omówione w dalszej części pracy. Sformułowanie tych zagadnień jest jasne i wskazujące jednoznacznie na badane zagadnienie, ale nie rozumiem rozdzielenia niektórych punktów, np.: „I - Effect of zig-zag tape on lift coefficient” i „II - Impact of zig-zag tape on aerodynamic efficiency”, czy „III - Wake recovery distance prediction of VAWT” i „IV - Wake asymmetry prediction of VAWT”. Podobna uwaga dotyczy V i VI, czyli wpływu liczby Reynoldsa na charakterystyki profilu.

Nieco zaskakującym jest sformułowanie zagadnienia X „Turbulence intensity decay rate influence limits”, które dotyczy spadku intensywności turbulencji pomiędzy warunkiem brzegowym na wlocie, a badanym profilem. Ten problem jest znany od wielu lat i jest przyczyną stosowania w wielu kodach tzw. limiterów, aby intensywność turbulencji nie malała, co stosuje się głównie w przypadku warunków typu far-field. Nasuwa się pytanie czy Doktorant testował taki warunek, który jest adekwatny do analizowanych w pracy konfiguracji.

Podobną wątpliwość można mieć co do „XV – Limitations of the k-omega SST turbulence model in capturing laminar flow effects”. Ten model nie jest odpowiedni do modelowania przepływu w warstwie przyściennej, w której spodziewamy się oderwania w warstwie laminarnej, a uznajemy, że jest ono istotne w danej analizie, gdyż model ten zakłada rozwój warstwy turbulentnej od krawędzi natarcia.

W rozdziale drugim Doktorant omawia najważniejsze wyniki dotyczące wpływu niskiej liczby Reynoldsa i przejścia laminarno-turbulentnego na charakterystyki aerodynamiczne. Prezentowany materiał został opublikowany w trzech artykułach. Obliczenia wykonano programem Ansys Fluent dla profilu DU-91-W2-250 oraz porównano z wynikami obliczeń programami FLOWer, Star-CCM+, XFOIL oraz wynikami pomiarów w tunelu aerodynamicznym Duńskiego Uniwersytetu Technicznego. Przedstawione charakterystyki aerodynamiczne wskazują na dobrą zgodność w zakresie niskich kątów napływu i zdecydowane pogorszenie przy zbliżaniu się do maksimum krzywej współczynnika siły nośnej, gdzie zaczyna

rozwijać się oderwanie na profilu. Jak wskazuje Doktorant (Fig. 2.5), występują także trudności w przewidywaniu położenia przejścia L-T dla badanych liczb Reynoldsa.

Podobne wnioski sformułowano w przypadku profilu NACA0018 w oparciu o wyniki przedstawione w kolejnym podrozdziale. Należy także dodać, że Doktorant przeprowadził analizę wpływu poziomu turbulencji na wlocie, ale skuteczność w przewidywaniu charakterystyki jest podobna do przedstawionego wcześniej wpływu liczby Reynoldsa.

Interesujące wyniki badań eksperymentalnych zamieszczono w rozdziale 2.3. Z deklaracji udziału w realizowanej pracy wynika, że Doktorant wykonywał obliczenia modelem 2D i porównywał wyniki obliczeń wykorzystując sformułowanie modelu przedstawione w rozdziale 2.2. Widać podobne, do prezentowanych wcześniej, rozbieżności w przewidywaniu współczynnika siły nośnej i współczynnika oporu. Tutaj nasuwa się pytanie czy w zakresie większych kątów i poszerzającej się strefy oderwania oddziaływanie ścian tunelu zaczyna być znaczące?

W rozdziale trzecim zawarto podsumowanie prac skoncentrowanych na analizie przepływu w obszarze wirnika turbiny Darrieusa lub wokół profilu, ale w warunkach reprezentatywnych dla pracy wirnika. W pierwszej części Doktorant przedstawił wyniki obliczeń dla oscylującego profilu, przy czym ruch imitował zmienność warunków napływu poprzez zadaną okresową zmianę kąta natarcia o amplitudzie 4 stopni i 8 stopni oraz częstotliwości 1 Hz, 2 Hz i 13.3 Hz. Ta ostatnia wartość odpowiada częstości obrotowej wybranego wirnika turbiny Darrieusa. Obliczenia przepływu niestacjonarnego (URANS) zostały wykonane modelem turbulencji  $k-\omega$  SST bez i z modelem przejścia L-T  $\gamma-Re_0$  dla dwóch liczb Reynoldsa 80,000 i 160,000. Wyniki wskazują wzrost współczynnika oporu i większą amplitudę współczynnika siły nośnej w przypadku niższej liczby Reynoldsa. Przedstawione zostały histerezy zmienności charakterystyk aerodynamicznych dla wybranych amplitud. Doktorant stwierdza, że model  $k-\omega$  SST z modelem przejścia L-T  $\gamma-Re_0$  prowadzi do lepszych wyników niż uzyskane klasycznym modelem turbulencji  $k-\omega$  SST. W artykule sformułowano wniosek wskazujący na konieczność wykonania obliczeń LES lub DNS, co wobec istnienia oderwania laminarnego i silnie trójwymiarowej struktury przepływu, jest odpowiednim kierunkiem, ale wymagającym dużych nakładów obliczeniowych. W tej sytuacji interesującym byłoby rozważenie innego modelu turbulencji, co prowokuje pytanie dlaczego Doktorant wykonując dużą ilość obliczeń nie zdecydował się na wykorzystanie modelu z grupy EARS (Explicit Algebraic Reynolds Stress Model), który zawiera modyfikacje uwzględniające anizotropowość tensora naprężeń. Ponadto oderwanie warstwy przysięennej, a w szczególności rozległe oderwanie charakteryzuje się silnie trójwymiarową strukturą, co dodatkowo może wpływać na uzyskiwane wyniki i być znacząco uproszczone w modelu 2D.

Wpływ efektu 3D widać wyraźnie w kolejnym artykule (rozdział 3.2), gdzie Doktorant porównał wyniki obliczeń modelem 2D (URANS) z wynikami pomiarów i obliczeń [Huang, TU Delft] modelem turbulencji  $k-\epsilon$  oraz Actuator Line Model reprezentującym wirnik. Porównanie wskazuje, że w tym przypadku większą rolę odgrywa trójwymiarowość przepływu i ewolucja struktur przestrzennych niż bardziej zaawansowany model turbulencji z modelowaniem przejścia L-T w modelu 2D.

W rozdziale 3.3 została omówiona procedura wyznaczania kąta napływu i histerezy sił działających na wirnik Darrieusa typu H. Analiza została wykonana dla różnych konfiguracji wirnika różniących się ilością łopatek (1, 2, 3 lub 4) i kątem ustawienia profilu ( $-10^\circ$ ,  $0^\circ$  i  $10^\circ$ ). Obliczenia przepływu niestacjonarnego wykonano wykorzystując metodę Scale Adaptive Simulations, ale przy założeniu modelu 2D. Wyniki obliczeń zostały porównane z danymi eksperymentalnymi Castelein et al. (2015). Doktorant zwraca uwagę, że model 2D nie uwzględnia efektów końcówek łopatek oraz przepływu wzdłuż łopatek. Należy dodać, że trójwymiarowość przepływu nie ogranicza się tylko do tych efektów, ale jest silnie związana z ewolucją struktur wirowych w strefie oderwań oraz w śladzie wirnika. W konsekwencji

założenie dwuwymiarowości zmienia topologię struktur wirowych i ostatecznie wpływa na wyniki obliczeń. W kolejnym kroku Doktorant przeprowadził analizę wpływu wybranych parametrów na charakterystyki aerodynamiczne i ich zmienność po obwodzie, w zależności od położenia wirnika. To interesująca analiza, ale byłoby warto sprawdzić i przedyskutować wpływ założenia dwuwymiarowości przepływu.

Ostatnia część rozdziału trzeciego dotyczy analizy wpływu taśmy wymuszającej przejście L-T na profilu i łopacie turbiny. To bardzo interesujące zagadnienie, a dotyczy nie tylko przepływu wokół analizowanych łopat turbin wiatrowych, ale także innych konfiguracji opływu profilu przy niskich liczbach Reynoldsa. W tym rozdziale przedstawione jest podsumowanie wyników z artykułu, w którym prezentowane są wyniki pomiarów dla profilu NACA0018 na stanowisku w Duńskim Uniwersytecie Technicznym, wyniki obliczeń różnymi metodami oraz porównanie z pomiarami turbiny Darrieusa na stanowisku badawczym Uniwersytetu w Delft. Doktorant omawia wpływ taśmy turbulizującej na charakterystyki aerodynamiczne profilu oraz ślad aerodynamiczny turbiny. Na fig. 3.12 widoczne jest obniżenie współczynnika siły nośnej po zastosowaniu taśmy i przesunięcie maksimum  $Cl/Cd$  w kierunku mniejszego kąta napływu. Na Fig. 3.14 i 3.15 pokazano wpływ taśmy turbulizującej na ślad za wirnikiem. W artykule zamieszczono porównanie prędkości w śladzie za turbiną w wybranych trawersach w wyniku obliczeń różnymi metodami z danymi pomiarowymi. W tym porównaniu zabrakło wyników uzyskanych modelem 2D, które wykonywał Doktorant. Dlaczego, skoro pokazano rozkład prędkości na rys. 3.14 i 3.15 jako wynik tych obliczeń. Takie ilościowe porównanie byłoby wartościowe i bezpośrednio wskazało na różnice pomiędzy modelami oraz wpływem taśmy turbulizującej. Należy także dodać, że kształt taśmy (zig-zag) ma indukować wiry wzdłużne w warstwie przyściennej prowadząc do jej destabilizacji i rozwoju trójwymiarowej struktury turbulentnej. W tej sytuacji nasuwa się kolejne pytanie w jaki sposób ten wpływ był modelowany wobec założenia dwuwymiarowości przepływu i jak bardzo to założenie może wpływać na uzyskiwane wyniki. Niemniej jednak, samo wymuszenie przejścia L-T w modelowaniu numerycznym jest często skuteczne, co może mieć miejsce także w tym przypadku.

Praca jest zakończona podsumowaniem, wnioskami i rekomendacjami dotyczącymi propozycji zakresu przyszłych prac. Wnioski zostały szczegółowo sprecyzowane w odniesieniu do trzech hipotez sformułowanych na początku pracy.

Na koniec można stwierdzić, że praca doktorska została przygotowana pod względem edytorskim bardzo starannie.

### 3. Uwagi szczegółowe

Poza ogólnymi uwagami i komentarzami w pierwszej części recenzji nasuwają się poniższe spostrzeżenia i pytania.

1. Proszę o wyjaśnienie dlaczego zdecydowano się na wybór warunków brzegowych typu inlet/outlet w obliczeniach profilu i wirnika umieszczonego w otwartej przestrzeni oraz czy warunek typu far-field w Ansys Fluent poprawiłby skuteczność badań wpływu intensywności turbulencji na charakterystykę profilu.
2. Czy w przypadku profilu DU i NACA z rozdziałów 2.1 i 2.2 były wykonywane obliczenia dla konfiguracji badanej eksperymentalnie, tzn. profilu umieszczonego w tunelu? Wyniki badań eksperymentalnych są odpowiednio korygowane, ale wykonanie obliczeń dla profilu w tunelu mogłoby zmienić obraz w porównaniu z przyjętym modelem obliczeniowym. Proszę o komentarz.

3. Proszę o wyjaśnienie co jest przyczyną asymetrii rozkładu współczynnika siły nośnej względem kąta napływu 0 stopni (Fig. 2.9 i Fig. 2.10). Profil NACA0018 jest symetryczny, więc dla dodatniego i ujemnego kąta napływu rozkład powinien być jednakowy.
4. W rozdziale 3.1 przedstawiono porównania wskazujące na wpływ liczby Reynoldsa dla różnych amplitud i częstotliwości, ale interesującym byłoby porównanie na jednym wykresie wpływu częstotliwości i liczby Reynoldsa dla wybranych amplitud. Czy takie porównanie jest dostępne?
5. Jednym z celów pracy przedstawionej w rozdziale 3.2 jest „H – Bridge the gap between 2D and 3D modeling approaches”. Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób przedstawione wyniki przez Doktoranta wypełniają tę lukę. W pracy omówiono porównanie obliczeń 2D z wynikami obliczeń 3D (Huang, TU Delft), ale nie wyjaśniono w jaki sposób wyniki obliczeń Doktoranta przyczyniają się do wypełnienia tej luki.
6. Proszę o wyjaśnienie dlaczego na Fig. 6 w artykule dot. rozdziału 3.3 wartości prędkości  $V_x/V_0$  są większe niż 1 poza śladem. Jaka prędkość przyjęto jako referencyjną?
7. Dot. rozdziału 3.4 – Jaki jest zakres grubości (lub straty przekroju) warstwy przyściennej na profilu dla zakresu kątów, gdy przed taśmą (zig-zag) warstwa przyścienna jest laminarna, a taśma wymusza przejście L-T. Jaki jest stosunek wysokości taśmy do grubości warstwy przyściennej w tym przypadku? W jaki sposób taśma (zig-zag) była modelowana w przyjętym modelu 2D?
8. W jakim zakresie kąta położenia wirnika (kąt  $\theta$  na Fig.3.13) obserwuje się oderwanie laminarnej warstwy przyściennej?
9. Rozdział 3.4 zawiera wyniki pomiarów i obliczeń różnymi metodami. Niestety nie jest w pełni jasne jaki jest udział Doktoranta w tej części prac. Proszę o doprecyzowanie.
10. Proszę o pokazanie prędkości lub składowych śladzie za wirnikiem w wyniku obliczeń 2D na tle pozostałych metod, np. tak jak na Fig. 14 (artykuł z rozdziału 3.4).

#### 4. Podsumowanie

Podsumowując recenzowaną pracę uważam, że Pan mgr inż. Jan Michna przedstawił interesujące wyniki obliczeń przepływu wokół profilu NACA0018 oraz w obszarze wirnika turbiny o osi pionowej typu Darrieusa. Wyniki obliczeń przepływu dwuwymiarowego z modelami turbulencji oraz modelem przejścia laminarno-turbulentnego dla różnych konfiguracji zostały porównane z wynikami obliczeń innych autorów przy pomocy innych metod oraz z danymi eksperymentalnymi. Wyniki prac zostały opublikowane w siedmiu artykułach. Doktorant w swoich pracach omówił wpływ liczby Reynoldsa na charakterystyki aerodynamiczne, podkreślając znaczenie niskich wartości liczby Reynoldsa. To jest szczególnie ważne w przypadku wirnika turbiny Darrieusa i profili pracujących w bardzo szerokim zakresie kątów napływu i prędkości. Liczba Reynoldsa oraz rozwój warstwy przyściennej na profilu jest silnie związana z położeniem przejścia laminarno-turbulentnego, a także z możliwością występowania oderwania w laminarnej warstwie przyściennej. Zatem analiza wpływu taśmy (zig-zag tape), indukującej przejście i turbulizującej warstwę, na charakterystyki aerodynamiczne i ewolucję struktury przepływu jest także istotnym zagadnieniem badawczym, którego podjął się Doktorant. Doktorant pokazał wpływ taśmy turbulizującej na ślad turbiny wiatrowej w ramach modelu dwuwymiarowego, co jednak

pozostawia otwarte pytanie na wpływ trzeciego wymiaru w modelu obliczeniowym na ilościowe wyniki.

Praca jest oryginalna i można stwierdzić, że ze względu na znaczenie aplikacyjne wybranego obszaru badawczego podjęta tematyka pracy doktorskiej została określona prawidłowo, a złożoność analizowanego przepływu w turbinie o osi pionowej stanowi interesujący obszar badań wymagający rozwoju metod obliczeniowych.

Wobec powyższego można stwierdzić, że wybrana tematyka ma istotne znaczenie poznawcze i aplikacyjne oraz spełnia kryteria prac w ramach dyscypliny „inżynieria mechaniczna”.

Uważam, że praca Pana mgra inż. Jana Michny pt.: „Modelling of laminar-to-turbulent transition and laminar separation bubbles using Computational Fluid Dynamics methods in the case of aerodynamic analysis of a laboratory-scale Vertical-Axis Wind Turbine” odpowiada warunkom określonym w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



