

Łódź, 11 czerwca 2017 roku

prof. dr hab. inż. Krzysztof Jóźwik
Instytut Maszyn Przepływowych
Wydział Mechaniczny
Politechnika Łódzka

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Katarzyny Kludzińskiej p.t. „*Badanie zjawisk aerodynamicznych w innowacyjnej turbinie wiatrowej o osi pionowej*”
wykonanej pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Krzysztofa Tescha

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej z dnia
15.05.2017 r. (pismo 80/WM/2017)

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została oceniona według pięciu kryteriów:

1. Wybór tematu, cel i zakres rozprawy.
2. Teza naukowa i oryginalność rozprawy.
3. Metodyka badań.
4. Krytyczna analiza treści rozprawy.
5. Ocena formalnej strony rozprawy.

Wybór tematu, cel i zakres rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Kludzińskiej poświęcona jest badaniom turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu w konfiguracji klasycznego rozwiązania Savoniusa oraz innowacyjnego rozwiązania z kierownicą o nastawnym kącie i zdwojonym wirnikiem. Badania te dotyczyły zarówno eksperymentu w tunelu aerodynamicznym z użyciem modelu, jak i symulacji numerycznych, w szczególności mających na celu określenie możliwości zastosowania ilościowych wskaźników – miar wirowości – umożliwiających analizę sprawności turbiny i wpływ konstrukcji na tę sprawność. Możliwość wykorzystania energii kinetycznej płynącej strugi (wiatru) jako jednego z odnawialnych źródeł energii stanowi niezwykle istotne zagadnienie. Jednocześnie, w wielu ośrodkach trwają prace nad nowymi rozwiązaniami turbin wiatrowych, w celu zwiększenia sprawności procesów przetwarzania energii. Poszczególne typy turbin mają swoje zalety i ograniczenia. Ogólnie uważa się, że turbiny o pionowej osi obrotu mają znacznie niższą sprawność wykorzystania energii wiatru. W przedstawionej do recenzji rozprawie podjęto się wyznaczenia parametrów pracy turbiny Savoniusa oraz innowacyjnego rozwiązania turbiny takiego typu, w którym zastosowano specjalną kierownicę z możliwością zmiany podziału i wynikającego z tego podziału kąta

napływu strugi na wirnik turbiny. W przeprowadzonych symulacjach numerycznych wyznaczono wskaźniki, przy użyciu których podjęto próbę wyjaśnienia wzrostu efektywności procesu przetwarzania energii wiatru w turbinie.

Podjęta w rozprawie tematyka wydaje się istotna z punktu widzenia zarówno zagadnień gospodarczych i społecznych (polityka zrównoważonego rozwoju, odnawialne źródła energii, efektywność energetyczna, energetyka prosumencka), jak i przede wszystkim poznawczych w obszarze turbin wiatrowych, szczególnie ze względu na rozpoznanie zjawisk zachodzących w układach przepływowych turbin o zwiększonej sprawności. Jest to więc zagadnienie aktualne i istotne ze względów poznawczych i aplikacyjnych, a jego poprawna realizacja umożliwi uzyskanie wskaźników ilościowych pozwalających na analizy porównawcze turbin już na etapie projektowania i symulacji numerycznych dla projektowanych układów przepływowych turbin.

Do sformułowanego na stronie 12 celu pracy – jakim jest identyfikacja zjawisk aerodynamicznych zachodzących w przepływie przez wirnik Savoniusa i jego modyfikację, co sprowadza się do analizy wyników eksperymentalnych w postaci współczynników mocy i momentu w funkcji wyróżnika szybkobieżności oraz przeprowadzenia symulacji numerycznych przepływu przez różne konfiguracje turbin i zaproponowania szeregu miar wirowości związanych ze zwiększoną sprawnością innowacyjnej konstrukcji – Autorka podała zakres niezbędnych prac koniecznych do zrealizowania celu i weryfikacji tez dysertacji. Zakres ten obejmował:

- przegląd literatury związanej z tematyką pracy,
- omówienie stanowiska pomiarowego, realizację eksperymentu, a także prezentację wyników eksperymentu w postaci zależności współczynników mocy i momentu od wyróżnika szybkobieżności z analizą dokładności pomiarów,
- realizację symulacji numerycznych,
- wprowadzenie miar wirowości,
- analizę porównawczą wyników eksperymentu i symulacji numerycznych,
- analizę zachowania miar wirowości i związku ze sprawnością badanych turbin.

Podjęta przez Doktorantkę problematyka badawcza mieści się w aktualnym obszarze zainteresowania nie tylko przemysłu i jest interesująca również pod względem poznawczym. Tym samym stwierdzam, że problematyka jest dysertabilna i można ją zakwalifikować do dyscypliny Budowa i eksploatacja maszyn.

Teza naukowa i oryginalność rozprawy

Po krótkim wprowadzeniu, w którym podane są główne motywy, jakie spowodowały podjęcie tematyki i realizację pracy w przedstawionym zakresie, Autorka sformułowała cel, zakres pracy oraz tezę naukową pracy o następującej treści:

Możliwe jest sformułowanie pewnych ilościowych wskaźników (miar wirowości), które umożliwiają analizę zwiększonej sprawności innowacyjnej turbiny wiatrowej o osi pionowej w porównaniu do klasycznej turbiny Savoniusa. Analiza ilościowa możliwa jest na podstawie obliczeń numerycznych przepływu przez rozważane konstrukcje.

Teza pracy budzi nadzieje na uzyskanie obiektywnych wskaźników umożliwiających analizę sprawności turbin już na etapie symulacji numerycznych przepływu, a poprawna realizacja pracy stanowić będzie oryginalny wkład zarówno w obszar aplikacyjny, jak i poznawczy dyscypliny „Budowa i eksploatacja maszyn”. Jednakże, jej sformułowanie jest mało precyzyjne, a merytoryczne podejście wskazuje na szczegółowość rozważań i brak uogólnienia.

Metodyka badań

Doktorantka w pracy przeprowadza serie badań eksperymentalnych wykorzystując do tego tunelik aerodynamiczny oraz modele turbin w wersji klasycznej turbiny Savoniusa oraz jej innowacyjnej modyfikacji, a także serię symulacji numerycznych dla takiego samego typu geometrii, co użyte geometrie turbin w badaniach eksperymentalnych. Badania eksperymentalne w tuneliku aerodynamicznym zrealizowano dla wybranych prędkości napływającego na turbinę czynnika, przy czym maksymalne wartości nie przekraczały 10,5 m/s. Współczynniki mocy i momentu wyznaczono dla różnych prędkości czynnika w funkcji wyróżnika szybkobieżności turbiny dla klasycznego wirnika Savoniusa oraz turbiny zmodyfikowanej z kierownicą, dla której ustalono dwa kąty ustawienia – 40° oraz 60°. W części dotyczącej symulacji numerycznych przeprowadzono modelowanie przepływu w szerszym zakresie prędkości obrotowych wirników turbin. Niestety, pełne porównanie podstawowych parametrów jest utrudnione, chociażby z powodu innego układu charakterystyk – dla eksperymentu w tuneliku aerodynamicznym wartości współczynników mocy i momentu są funkcjami wyróżnika szybkobieżności, a dla symulacji numerycznych funkcjami prędkości obrotowej wirników turbin.

Podstawowym celem dysertacji było wskazanie miar ilościowych, których użycie w analizie wyników symulacji numerycznych mogłoby pozwolić na ocenę sprawności turbin. Zaproponowane miary wirowości zostały zobrazowane dla zrealizowanych symulacji w postaci zależności w funkcji wyróżnika szybkobieżności dla różnych prędkości napływającego czynnika i w funkcji kąta położenia wirnika względem kierunku napływającego czynnika.

Proponowana metodyka nie budzi większych zastrzeżeń, choć w zakresie analizy niepewności pomiaru niezrozumiałym jest wyznaczanie błędów. Błąd, jako wielkość abstrakcyjna nie jest najlepszą miarą dokładności pomiaru, a ewentualne wyznaczania maksymalnego rozrzutu dla danej metody i użytych przyrządów pomiarowych znacznie zwiększa przedziały dokładności. W prezentacji uzyskanych wyników symulacji numerycznych wyraźnie brakuje analitycznego podejścia i próby uogólnienia, o ile to możliwe na bazie zakresu zrealizowanych badań numerycznych i badanych geometrii. Struktura pracy i sposób prezentowania wyników bardziej odpowiada raportowi z projektu niż dysertacji naukowej. Dodatkowo, ogólna struktura pracy nie ma logicznego ciągu.

Krytyczna analiza treści rozprawy

W wykazie stosowanych oznaczeń nie uwzględniono wszystkich symboli, które występują w pracy. Nie podano także jednostek wielkości, do których przypisano poszczególne symbole.

Rozdział 1

W podrozdziale 1.1 (str. 11) podano wartości wielkości fizycznych lub reprezentatywne wartości parametrów bez powoływania się na jakiekolwiek źródło. Dotyczy to zakresu średnich prędkości wiatru na terenie Polski (bez podania wysokości występowania tej prędkości) wygenerowanej z odnawialnych źródeł energii. Użyto także niefortunnego określenia „energii odnawialnej”. W podrozdziale 1.2 nie powołano się na jakiekolwiek źródła odnosząc się krytycznie do ich zawartości. Wydaje się, że Autorka nie dokonała sumiennego przeglądu literatury w zakresie numerycznych obliczeń przepływu przez turbiny wiatrowe, w tym turbiny Savoniusa. W podrozdziale 1.4 podano tezę pracy, która ma bardzo szczegółowy charakter i nie mówi o możliwości uogólnienia efektów dysertacji.

Rozdział 2

W podrozdziale 2.1 (strona 13) podano podział turbin o poziomej osi obrotu. Przytoczone nazewnictwo jest specyficzne i nie odniesiono się do jakiegokolwiek źródła. Czy taki podział jest autorskim opracowaniem Doktorantki? Na stronie 14 podaje się „typowe prędkości wiatru” dla turbin o osi poziomej – jakie jest źródło tych danych? W poszczególnych podrozdziałach, w których omawiane są poszczególne typy rozwiązań turbin wiatrowych pokazane są na rysunkach schematyczne rysunki tych turbin. Większość rozwiązań jest powszechnie znana. Jednakże, dla niektórych (np. turbina Archimedes) schematyczny rysunek wykonany przy Autorkę powstał z pewnością na bazie źródła – jakiego? Na stronie 19 podaje się kształt łopatek turbiny Banki-Michella jako półkolisty lub aerodynamiczny. Wydaje się, że jest to skrót myślowy, a geometria ta dotyczy raczej przekroju poprzecznego łopat takiej turbiny. Dotyczy to także opisu turbin Piskorza, Pawłaka i Vortexis (strona 20).

W podrozdziale 2.3, którego tytuł brzmi „literatura tematu”, już w pierwszym podrozdziale przytaczane są jedynie publikacje, których Doktorantka jest współautorką. Brak jakichkolwiek innych, które dotyczą optymalizacji geometrii końcówek łopatek. Na stronie 26 podany jest podrozdział dotyczący obliczeń wstępnych przez wirnik turbiny Savoniusa. Nie znajdują uzasadnienia dla prezentacji własnych obliczeń w tej części dysertacji. Pokazane na rysunku 2.18 (strona 26) porównanie wyników obliczeń własnych z literaturowymi wymagałoby określenia geometrii i wykazania, że są one podobne. Niezależnie od tego, przedstawione na tym rysunku dane pochodzą z pracy innych autorów, a nie ma odniesienia do źródła. Źródła podano jedynie w tekście omawiającym rysunek. W bardzo ogólnym opisie warunków obliczeń wskazano na wykorzystanie określonego modelu turbulencji, co uzasadniono używaniem tego modelu w pracach na ten temat. Jednakże nie przytoczono choćby jednego źródła.

Wnioski przedstawione w analizie rys. 2.20 (strona 27) trudno zaobserwować na wykresach z rysunku – jest zbyt mały i zbyt wiele danych nakłada się na siebie. Do rysunku 2.21 podane wyjaśnienie, że pierwszy obrót wirnika dla obliczeń niestacjonarnych nie jest reprezentatywny jest oczywisty. Co więcej, uzyskanie periodyczności rozwiązania bardzo silnie związane jest z warunkami początkowymi, które przyjmuje się dla obliczeń niestacjonarnych. W dalszej części tekstu (strona 27) opisywany jest rys. 2.22, na którym wykreślono wartości błędu względnego. Brakuje definicji tej wielkości i trudno odnieść się do podanych wartości i zawartej analizy.

W podrozdziale 2.3.1.2 podany jest opis procesu optymalizacji wirników turbin Savoniusa. Stwierdzenia zawarte w pierwszych zdaniach akapitu nie mają odniesienia do źródeł. Na jakiej podstawie podano wniosek dotyczący najlepszej liczby łopatek? W dalszej części mówi się o geometrii, w tym o wielkości szczeliny, proporcji wysokości do średnicy, a nawet liczby segmentów składających się na pełny wirnik – ponownie nie ma jakichkolwiek odniesień do literatury. Dalej, stwierdzono, że istotną jest geometria końcówek łopatek i przytacza się własny artykuł. Przyjętą metodę poszukiwania poprzez sprawdzanie krokowo wybranych geometrii nazywa się procesem optymalizacyjnym według metody systematycznych poszukiwań. Skąd taka nazwa i jak można takie zabiegi nazywać optymalizacją?

Na stronie 29, przy omawianiu rys. 2.26, stwierdza się, że wzrost współczynnika sprawności dla najlepszej konfiguracji wynosi 5,42% - podana wartość nie jest przyrostem, a wartością maksymalną uzyskaną z obliczeń wykonanych dla rozważanych przypadków. Podobne stwierdzenie zawarto w opisie zachowania współczynnika C_T . W podpisie do rys. 2.27 zbyt optymistycznie użyto stwierdzenia wirnik optymalny – co najwyżej jest to najlepsza spośród rozważanych geometrii końcówek łopatek wirnika.

W podrozdziale 2.3.2, który dotyczy omówienia wybranych publikacji, na początku strony 31 mówi się o ponad dziesięciu testach. Ile dokładnie było tych testów? Na stronie 32 podano omówienie badań numerycznych w układzie 2D i wykazano wielkości, które nie są zawarte w spisie symboli. W tekście także nie omówiono ich znaczenia. Do tego fragmentu pracy przydałby się rysunek pokazujący obiekt badań i wielkości geometryczne, do których odnosi się Autorka. Na stronie 34, omawiając prace Mohameda, wskazano użycie oprogramowania CFD – jakiego? Na stronie 38, przy omawianiu pracy Kamoji, stwierdza się, że badania przeprowadzono dla różnych liczb Reynoldsa. Według mnie jest jedna, główna definicja liczby Reynoldsa, natomiast może ona przyjmować różne wartości – byłaby to więc zależność od liczby Reynoldsa.

W podrozdziale 24, na stronie 39, używa się określeń „czysta” i „zielona energia”. Co to znaczy? Dysertacja naukowa nie powinna zawierać określeń dziennikarskich. W ostatniej linijce strony 40 podano informację, że pierwszy wiatrak został w Polsce postawiony w 1991 roku. Oprócz kolokwialnej formy tego stwierdzenia, zawiera ono nieprecyzyjność określenia. Raczej dotyczy to pierwszej turbiny wiatrowej generującej energię elektryczną, bo historia wiatraków w Polsce jest dużo starsza (druga połowa XIII wieku). W wielu miejscach tego podrozdziału podane są dane lub zawarto stwierdzenia, które powinny być poparte źródłami literaturowymi – takowych nie podano.

Rozdział 3

Na stronie 45 w podrozdziale 3.2 pojawia się stwierdzenie „*Zamiast momentu stacjonarnego T rozważany jest średni moment $\bar{T}$, który rozumiany jest jako przybliżenie średniej całkowitej przez średnią arytmetyczną.*” – co oznacza przybliżenie średniej całkowitej? Na dole strony (przedostatnia linia przed wzorem (3.4) podaje się wzór określający energię kinetyczną $e_k = \frac{1}{2}U^2$ – podana zależność nie jest wzorem określającym energię kinetyczną, a co najwyżej jednostkową energię kinetyczną odniesioną do jednostkowej masy. Na stronie 46 (zdanie za wzorem (3.6)) stwierdzenie stałości mocy wiatru jest prawdziwe jedynie przy spełnieniu kilku założeń – nie wspomniano o tych założeniach, jak również nie dopisano, że

przyjmuje się stałość mocy. Na tej samej stronie brakuje odniesienia do literatury przy podziale turbin ze względu na wartość wyróżnika szybkobieżności.

W podrozdziale 3.3 (Badania eksperymentalne) w miejsce rys. 3.5, do którego nie ma odniesienia w tekście, lepszy byłby schemat z zaznaczonymi głównymi wymiarami stanowiska i zaznaczonymi miejscami umieszczenia oraz wymienionymi rodzajami czujników pomiarowych.

Podrozdział 3.3.2.1. dotyczący błędów pomiarowych jest z założenia merytorycznie źle skonstruowany. Nie wiadomo z jakich powodów narzuca się wprowadzenie błędu jako reprezentanta dokładności pomiaru, a błąd systematyczny ma tu najmniejsze zastosowanie. Zgodnie z definicją pomiaru reprezentatywna byłaby niepewność, a rozrzut, czyli maksymalny błąd bezwzględny wynikający z klasy przyrządów użytych do pomiarów, byłby podstawą, przy założonym rozkładzie prawdopodobieństwa, do określenia odchylenia standardowego dla pojedynczego pomiaru. Błąd, z natury tej wielkości, jest pojęciem abstrakcyjnym, odniesionym do wartości rzeczywistej, której nie znamy. Prowadzenie rachunku błędów jest więc niezrozumiałe. Oczekuję pełnego wyjaśnienia tego zagadnienia podczas publicznej obrony. Jak wyznaczono błędy bezwzględne Δ_{xi} (strona 48)? We wzorze (3.11) wprowadzono wielkość $\bar{T}$, która wprowadza dodatkowe zmienne i dalszy wywód rachunku statystycznego jest błędny. Jak oszacowano wartość maksymalnego błędu pomiaru prędkości za pomocą sondy Prandtla? Skąd zaczerpnięto wzór (3.15)? Jeżeli wartość Δ_T jest rezultatem wskazania wartości T i klasy przyrządu, to wzór ten jest błędny.

W podrozdziale 3.3.2.2. (strona 50) Autorka odwołuje się do wartości niepewności – jak ma się przedstawiony rachunek błędów do użytych przy sporządzaniu wykresów niepewności?

Rozdział 4

Ogólna uwaga do rozdziału 4, dotyczącego miar wirowości, sprowadza się do braku odniesienia do źródeł literaturowych. W wielu miejscach można odnieść wrażenie, że Doktorantka wymyśliła wszystkie te wielkości.

Wzór (4.13) jest źle przekształcony ze wzoru (4.12). W wielu miejscach pracy pojawia się formuła całkowania „po domenę” (pierwszy raz występuje na stronie 57), uśrednianie „po czasie (pierwszy raz na stronie 63 w tytule podrozdziału 4.3) lub średnie całkowite „po objętości (pierwszy raz na stronie 71 w podrozdziale 5.3.1.) – jest to slang, który nie powinien pojawiać się w języku formalnym. Wszystkie rysunki przedstawiające rozkłady wartości omawianych miar dla klasycznej turbiny Savoniusa i jej innowacyjnej wersji są nieczytelne – zbyt małe. Niezależnie od wielkości, na żadnym nie podano skali, która pozwoliłaby na rozróżnienie wartości. Kolorowe obrazki są może i ładne, ale nie wnoszą wiedzy.

Rozdział 5

Ponownie, dla omawianych modeli turbulencji przydałyby się odniesienia do źródeł literaturowych. Przy omawianiu siatek dla obliczeń numerycznych podano statystyki, ale sprowadzają się one do liczby i rodzaju elementów. Nie ma danych mówiących o jakości siatek. Na stronie 75 podano „*W celu uzyskania maksymalnych wartości y^+ na wirniku w granicach 1-2 przyjęto 10 warstw elementów na odpowiednio niskiej wysokości.*” W obliczeniach numerycznych maksymalne wartości wielkości y^+ nie pozwalają na uzyskanie wiarygodnych wyników. Mówi się raczej o dążeniu do jak najmniejszych wartości, co jest w opozycji do skomplikowania obliczeń i wydłużenia czasu ich trwania (o zasobach

komputerowych nie wspominając). Co oznacza niska wysokość – czy nie powinno być odległość od ścianki?

Na stronie 77 jako jeden z warunków brzegowych podany jest warunek symetrii, pokazany na rys. 5.7h. Ze wskazanego rysunku nie wynika czego warunek ma dotyczyć. Proszę o wyjaśnienie tego warunku.

W podrozdziale 5.7 mówi się o inicjalizacji – czy to należy rozumieć jako warunki początkowe? Na stronie 82 (powyżej tabeli 5.4) mówi się o niewielkiej różnicy wyników uzyskanych dla różnych kątów, będących efektem przyjętej wartości kroku czasowego. Pojawia się stwierdzenie, że różnica jest „niewielka” – określenie nieinżynierskie i nie mówiące. We wzorze (5.55) pojawiają się symbole, które interpretowane według spisu symboli prowadzą do błędu. Rysunek 5.10 jest kompletnie nieczytelny. Rysunki na stronach 84-85 pokazują maksymalne, zmienne wartości liczby Couranta. Jak ma się ta wartość do wartości średniej określonej w istotnej jednostce czasu, która decyduje o charakterze zjawiska?

W opisie wzoru (5.56) jest zdanie: *„Przedział czasu Δt odpowiada ostatniemu obrotowi. Dla prędkości obrotowej $n = 2$ i 3 obr/s były to trzy pełne obroty. Dla prędkości obrotowej $n = 4$ obr/s były to cztery obroty, a dla $n = 5$ obr/s było to pięć obrotów, aby osiągnąć periodyczność wyników.”* Pierwsze zdanie wyklucza pozostałe. Jak więc rozumieć ten fragment? Z przedstawionych wykresów zawierających rozkłady wartości miar dla różnych kątów ustawienia wirników względem kierunku napływającego czynnika nie wynika, że osiągnięto periodyczność. Brak zbieżności wyników dla kątów 0° i 360° . Na tej samej stronie (86) wzmiankowane jest, że *„dokładność wyników CFD”* – co to znaczy – slang?!, *„w porównaniu z eksperymentem jest zadowalająca, biorąc pod uwagę drobne różnice w prędkościach eksperymentalnych i tych przyjętych do obliczeń CFD oraz uproszczeniu kształtu tunelu aerodynamicznego.”* Jest bardzo nieprecyzyjne stwierdzenie. Jaka była różnica procentowa w wynikach? Rysunki przedstawiające wyniki i ich porównanie wykonane są w takiej skali, że trudno stwierdzić, czy zgodność jest dobra? Dlaczego do obliczeń nie przyjęto dokładnie wartości użytych, czy też uzyskanych podczas eksperymentu?

W podrozdziałach od 5.6.2 i dalszych jest wiele powtórzeń z rozdziału 4. Przy omawianiu wyników ograniczono się do stwierdzeń oczywistych relacjonujących przebieg i wartości uzyskane w obliczeniach bez próby interpretacji i wyjaśnienia zjawisk i zależności.

Tekst pomiędzy wzorem (5.60) i tabelą 5.5 jest niejasny i powtarza się to samo stwierdzenie dwukrotnie inaczej je formułując. To samo dotyczy fragmentu pomiędzy wzorem (5.64) i tabelą 5.6. Wniosek pojawiający się na stronie 99, pomiędzy wzorem (5.68) i tabelą 5.7, stoi w sprzeczności z wartościami zawartymi w tej tabeli. Średnia wartość jest ponad 3,5 razy większa, a nie mniejsza.

Na końcu strony 99 pojawia się chęć porównania. Jedynie brakuje z czym następuje porównanie – należy się tego domyślać.

Wykresy zamieszczone na rysunkach przedstawiających wartości poszczególnych miar są nieczytelne – źle dobrane rozmiary rysunków i skale.

W części podpisów pojawia się slangowe stwierdzenie wykres „wielkości” od kąta.

Rozdział 6

We wnioskach nie uniknięto niefortunnych zwrotów i nieinżynierskiego podejścia (np. *„... przy słabszych wiatrach. ... prawie zawsze ..., ... prawie wszystkie miary ...”*). Pojawia

się stwierdzenie, że im większy jest kąt ustawienia kierownicy, tym większa sprawność. Można byłoby odnieść wrażenie, że można zwiększać ten kąt bez ograniczenia i uzyskiwać coraz większe sprawności. Zbadano jedynie dwa ustawienia katowe, więc nie bardzo można określić najlepsze ustawienie. Dla zbadanych kąt 60° pozwolił na uzyskanie najlepszych wartości sprawności. Ogólnie, wnioski sformułowane są raczej powtórzeniem opisu uzyskanych wyników, a nie analizą zjawisk. Jedynie ostatni akapit dotyczy stwierdzeń pozwalających na powiązanie uzyskanych wyników i relacje przyczynowo skutkową pomiędzy zjawiskami wirowymi opisanymi użytymi miarami a wzrostem sprawności.

Należy dodać jeszcze jedną uwagę uogólniającą przedstawiony sposób analizy uzyskanych wyników. W dużej mierze ogrom wykonanej pracy, zbiór danych eksperymentalnych i wyników opracowania zrealizowanych pomiarów, a także wyniki zrealizowanych symulacji numerycznych mogłyby być podstawą głębszej analizy. Wielokrotnie w pracy można znaleźć raczej sprawozdawczy charakter opisu uzyskanych wyników niż analityczne podejście do ich prezentacji, bez próby wyjaśnienia zachodzących zjawisk i przyczyn określonego wpływu badanych parametrów na badane zjawiska.

Ocena formalnej strony rozprawy

Licząca 140 stron praca składa się z 6 rozdziałów, streszczenia, spisu treści, spisu literatury, spisu rysunków, tablic, oznaczeń i skrótów, zawiera 85 pozycji cytowanych źródeł literaturowych, patentów oraz stron internetowych (w znamienitej mniejszości – 11 pozycji). Spośród zawartych 85 pozycji w spisie literatury osiem nie ma swojego odwołania w tekście (są to pozycje 6, 14, 19, 36, 43, 44, 57, 58). Praca napisana jest językiem często kolokwialnym, a nawet slangowym. Występują bardzo liczne błędy interpunkcyjne i stylistyczne, a także struktury zdań (np. brak orzeczenia). W wielu miejscach występują tzw. „wdowie” tytuły rozdziałów (tytuł rozdziału i bez jakiegokolwiek tekstu, tytuł podrozdziału). W zapisie liczb użyto kropki zamiast przecinka do separacji części całkowitej i ułamkowej. Rysunki, szczególnie te zawierające wyniki, są nieczytelne, a użyte skale nieodpowiednie do zakresu prezentowanych wartości. Praca zawiera powtórzenia wzorów, a także tekstu lub jego części w podrozdziałach omawiających wpływ poszczególnych parametrów. W kilku miejscach pracy użyto słowa własność zamiast właściwość. W tekście Autorka odwołuje się do rysunków używając różnych słów: rysunek, wykres, fotografia.

Podsumowanie

Pomimo mankamentów i braku analitycznego sposobu przedstawienia wyników pracy uznaję, że mgr inż. Katarzyna Kludzińska w Swojej rozprawie doktorskiej zawarła istotne osiągnięcia wynikające ze zrealizowanych badań. Zaliczam do nich uzyskane wyniki miar ilościowych charakterystycznych dla przepływu przez turbinę typu Savoniusa. Istotne jest także wykazanie przez Doktorantkę, że wzrost sprawności przekształcania energii wiatru odzwierciedlony jest w zmienności pewnych zaproponowanych miar. Bardzo duży materiał zgromadzony podczas badań pozwoliłby pewnie na wyznaczenie większej liczby wniosków, jak i pytań do wyjaśnienia, aby można precyzyjnie określić możliwości i sposoby oceny sprawności za pomocą tychże zaproponowanych miar.

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska posiada istotny ładunek wiedzy praktycznej. Temat pracy odpowiada zawartej w niej treści. Na podstawie analizy treści pracy doktorskiej uważam, że cel naukowy został osiągnięty, a teza naukowa została udowodniona w stopniu wystarczającym.

Biorąc pod uwagę całość pracy stwierdzam, że Autorka rozwiązała problem naukowy związany z budową i eksploatacją maszyn. Uważam, że rozprawa doktorska Pani mgr. inż. Katarzyny Kludzińskiej spełnia kryteria określone Ustawą¹ w sprawie trybu i warunków przeprowadzania przewodów doktorskich i może być dopuszczona do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'P' followed by a series of loops and a long horizontal stroke extending to the right.

¹ Ustawa „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz.U. nr 65 poz. 595 z dn. 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami)