

dr hab. inż. Andrzej Strużyński
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki
Wydział inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
al. Mickiewicza 24/28
31-120 Kraków

Kraków, 10 listopada 2023

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Arkadiusza Szkudlarka**

Tytuł pracy:

Ekologiczna turbina mobilna wykorzystująca wodę swobodnie płynącą do wytwarzania energii elektrycznej

Podstawa opracowania recenzji

Niniejszą recenzję opracowałem na podstawie decyzji Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu dnia 10 lipca 2023 w związku z powołaniem mnie przez Radę na recenzenta przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

Zakres recenzji

Recenzja została opracowana w związku z przewodem doktorskim mgr inż. Arkadiusza Szkudlarka. Oceny dokonano zgodnie z wymogami Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595, z późn. zm.) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19.01.2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. poz. 261).

Charakterystyka rozprawy

Tematem pracy jest kompleksowe opracowanie projektu, modelu i prototypu turbiny kinetycznej. Autor rozprawy przygotował materiał w ramach tzw. doktoratu wdrożeniowego objętego klauzurą poufności. W związku z tym zawarte w niniejszej recenzji informacje nie wykraczają poza granice poufności danych źródłowych.

Praca obejmuje wraz z załącznikiem 161 stron. Układ pracy jest poprawny i obejmuje rozdziały obejmujące tematykę: spis oznaczeń, wstęp, przegląd literatury, cel i zakres badań, obliczenia teoretyczne, budowę modelu numerycznego, budowę modelu fizycznego, przygotowanie projektu

technicznego i budowę prototypu, podsumowanie i wnioski wraz z ceną w tym przypadku refleksją krytyczną autora i perspektywą kontynuacji badań. W pracy znajdziemy także takie rozdziały jak zbiór wykorzystanych materiałów, spis literatury i załącznik w którym znalazł się spis 68 projektów komercyjnych w realizacji których autor miał udział merytoryczny.

W związku z rozpoznaniem przez autora potrzeb w zakresie wykorzystania źródeł odnawialnych postawiony został w pracy cel przygotowania projektu i wdrożenia innowacyjnej przepływowej turbiny wodnej, mogącej być wykorzystaną w rzekach nieposiadających piętrzenia. W **rozdziale 3.3** autor prezentuje standardowe rozwiązania turbin wymagających piętrzenia wody, natomiast w **rozdziale 3.4** przedstawia przykłady projektów wdrażających różne rodzaje turbin kinetycznych wraz z uzyskiwanymi przez nie sprawnościami. W rozdziale tym przedstawione są także możliwe sposoby lokalizacji tych urządzeń. Na podstawie zaprezentowanego przeglądu literatury autor przyjął wstępne założenia do projektowanego urządzenia. Założenia te nie mają charakteru unikatowego, więc pozwolę sobie je przytoczyć:

- oś turbiny pozioma, równoległa do przepływu wody,
- napęd wału turbiny w postaci wirnika śmigłowego,
- średnica wirnika około 1m, a średnica całkowita urządzenia do 1,5m,
- zastosowanie systemu pływaków wypornościowych w celu zapewnienia odpowiedniego położenia osi turbiny w nurcie rzecznym.

W założeniach do rozważań projektowych autor podkreślił podobieństwo proponowanej turbiny do urządzeń wiatrowych dodał jednak dyfuzor, podobnie jak w kilku innych projektach odszukanych w źródłach zewnętrznych, w celu zwiększenia stopnia wykorzystania energii przepływającej wody. W **rozdziale 6** (Obliczenia teoretyczne turbiny) zastosowane zostały formuły umożliwiające określenie i przyjęcie podstawowych założeń geometrii śmigła oraz założeń hydraulicznych, fizycznych i energetycznych. Przyjął więc założenia dotyczące średnicy śmigła, prędkości przepływającej wody, prędkości obrotowej, liczby łopat wirnika i jego mocy. W obliczeniach wstępnych przyjęto profil hydrodynamiczny NACA 2412. W dalszych rozdziałach pracy autor analizował parametry także innych profili (n.p. NACA 4418) oraz dokonał ich modyfikacji nie zdradzając jednak szczegółów powołując się na klauzurę poufności. Autor wykonał konieczne obliczenia umożliwiające określenie sił działających na poszczególne segmenty łopaty śmigła, a także dokonał analizy momentów, strat i mocy. Ostatecznie przedstawił wykres profilowy łopatki.

W **rozdziale 7** (Budowa modelu geometrycznego łopatki) wykonane zostały rozwinięcia geometryczne opływki i wirnika. Łopatki wirnika zaprojektowane zostały zarówno w płaszczyźnie prostopadłej jak i merydionalnej, co umożliwiło wykonanie geometrii rozwinięcia przekroju łopatki. Wykonano rozwinięcia konforemne a wyniki prac projektowych zostały sprawdzone na podstawie analizy przekrojów kątowych i warstwicznych. W **rozdziale 8** przedstawiony został proces stworzenia modeli numerycznych wirnika i płynu płynącego w otaczającej go przestrzeni. Ze względu na ograniczenia sprzętowe zdecydowano się zróżnicować gęstość siatki wirnika i otaczającego go płynu a oba te ośrodki połączyć za pomocą odpowiednich interfejsów opisujących warunki brzegowe. Do stworzenia modeli numerycznych wraz z ich interfejsami zastosowano oprogramowanie CAD. Autor nie zdradza jakiego oprogramowania CFD (Computational Fluid Dynamics) użył. Wspomniany w **Streszczeniu** skrót CFX sugeruje zastosowanie oprogramowania ANSYS, lecz pewności nie ma. Odpowiedni dobór wymiarów ośrodka otaczającego wirnik był istotny ze względu na uzyskiwane

wyniki osiągniętej mocy turbiny. Z tego powodu dokonano analiz w wyniku których określone zostały minimalne rozmiary ośrodka dla których wpływ ścian stawał się małoistotny. Model numeryczny wirnika został poddany analizie w 5 płaszczyznach (0,1; 0,25; 0,5; 0,75 i 0,95 L - gdzie L, jak rozumiem, jest to odległość od piasty do końca łopatki). W dalszej części określono średnicę wirnika (D) oraz średnicę piasty wirnika (dp). Na podstawie przeprowadzonych analiz numerycznych autor zdecydował się przyjąć średnicę nominalną wirnika równą 1000 mm. Układ trajektorii wody opływającej wirnik oraz rozkład prędkości i ciśnień w przekroju wirnika jak również dla rozwinięcia palisady łopatkowej określono dla trzech wariantów opartych na zmianie średnicy piasty wirnika (dp = 235, 285 oraz 335 mm). Sprawdzono także parametry śmigła wyposażonego w 3, 5 oraz 7 łopat a także ich kąta nachylenia i szerokości (ryc. 55, 56 i 57). Wyniki tych analiz nie zostały jednak w pracy przedstawione. Możemy się jedynie dowiedzieć, że autor w prototypie zastosował system regulacji kąta nachylenia łopatek. W świetle tej informacji możemy przypuszczać że modelowanie wariantowe było przydatne na etapie projektowania prototypu. Z tabeli 13 dowiadujemy się jakie parametry wirnika zostały przyjęte do dalszych obliczeń. Są nimi: średnica i promień wirnika, prędkość wody w płaszczyźnie wirnika, prędkość kątowa i obrotowa, przyrost promienia, liczba łopat, współczynnik siły nośnej, współczynnik siły oporu, kąt natarcia i doskonałość profilu. Wyniki modelowania wskazały, że Autor poprzez modyfikację profilu NACA 4418 uzyskał wysoką sprawność przepływową, sięgającą wartość 0,73 oraz współczynnik wykorzystania mocy jest bliski wartości 0,43.

W **rozdziale 10** (Model numeryczny obudowy turbiny) autor przedstawił wyniki modelowania przeprowadzonego dla dyfuzorów: prostego, wieloprofilowego oraz kołnierзовego. Zachęcony wynikami potwierdzającymi wzrost prędkości w przestrzeni w której pracuje wirnik (ryciny 73 - 75) w **rozdziale 11** (Model numeryczny turbiny) przedstawił wyniki symulacji modeli połączonych dla prędkości wlotowej wynoszącej 1, 2 oraz 3 m/s. W tabelach od 16 do 18 przedstawione zostały wyniki szczegółowe przedstawiające charakterystyki podstawowe turbiny dla zmiennej prędkości obrotowej przy każdej z trzech w/w prędkości przepływającego ośrodka. Jak można się domyśleć największą moc oraz jej uzysk przy wszystkich prędkościach obrotowych od $n = 50$ do 300 obr/min uzyskano dla prędkości wody $V_0 = 3,0$ m/s (moc maksymalna 5,91 kW, przy 200 obr/min). Uzysk mocy z turbiny dla prędkości $V_0 = 2,0$ m/s możliwy był do prędkości obrotowej 250 (moc maksymalna 1,66 kW przy 150 obr/min) a dla $V_0=1,0$ m/s jedynie do 150 obr/min (moc maksymalna 0,18 kW przy 50 obr/min). Przedstawione zostały także charakterystyki współczynnika wykorzystania energii, oraz mocy w funkcji wyróżnika szybkobieżności lub prędkości obrotowej (ryc. 24 - 26). Imponujący zakres pracy oraz ciekawość badawczą autora przedstawia tabela 19. Zawarto w niej wyniki symulacji 34 wariantów obliczeniowych dla zmiennych kształtów i średnicy płata, zastosowanego rodzaju i wielkości dyfuzora, prędkości V_0 oraz prędkości obrotowej wirnika. W tabeli tej Autor zamieścił wartości wskaźnika szybkobieżności, współczynnika wykorzystania mocy oraz mocy oddawanej przez wirnik. W zależności od zastosowanego wariantu urządzenia i prędkości przepływającej wody możliwe są przykładowo do uzyskania moce od 0,18 do 20,43 kW. Przeprowadzone symulacje umożliwiły Autorowi skupienie się nad najbardziej optymalnymi rozwiązaniami przedstawionym w **rozdziale 12** (Wyniki badań numerycznych). Wybrane 2 konstrukcje zostały poddane szczegółowym analizom dla 4 wariantów polegających na zmianie prędkości dopływającej wody do wirnika ($V_0 = 1,0; 2,0; 2,5$ i 3,0 m/s). Konstrukcje te różniły się wyróżnikiem szybkobieżności ($\lambda = 2,6$ oraz 3,5). W tabelach 20 oraz 21 zestawiono parametry opisujące moc turbiny oraz produkowaną moc elektryczną, prędkość V_0 ,

wyróżnik szybkobieżności (λ), współczynnik wykorzystania energii (c_p) oraz sprawność (η). Na rycinach od 27 do 34 przedstawiono wykresy przebieg parametrów c_p , M oraz P w zależności od parametru λ , lub n [obr/min]. Zestawienia te umożliwiają określenie optymalnych warunków pracy przedstawionych rozwiązań wariantowych.

W **rozdziale 13** (Badania laboratoryjne) autor przedstawił miejsce badań (laboratorium im. Juliana Wołoszyna w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu), następnie przedstawił charakterystykę stanowiska badawczego przed i po modyfikacji polegającej na zwiększeniu wydatku urządzeń doprowadzających i odprowadzających wodę. Określenie prędkości wody w przekroju pomiarowym zrealizowano za pomocą młynka hydrometrycznego firmy Biomix model HEGA-2 z przelicznikiem BLH-03. Po omówieniu i przedstawieniu fotograficznym procesu wykonania modelu opisano warunki wykonania badań laboratoryjnych z którego dowiadujemy się, że pomiary wykonywano przy prędkości przepływu 0,6 m/s. W tabeli 22 zamieszczono też wyniki pomiarów pracy modelu przy prędkościach zawierających się w granicach od 0,4 do 0,8 m/s. Rozbiegowa prędkość obrotowa śmigła modelu fizycznego sięgała w tych warunkach (zapewne dla prędkości przepływu wody równej 0,6 m/s) 135 obr/min. Hamowanie wirnika zrealizowano za pomocą zmian naprężenia linki opasającej jego wał. Wyniki pracy modelu fizycznego w skali 1:4 przedstawiono w tabeli 23, a charakterystykę przebiegu współczynnika wykorzystania energii i wielkość mocy na wale turbiny w funkcji prędkości obrotowej wirnika zamieszczono na rycinach 35 i 36. W trakcie prac laboratoryjnych uzyskano moc maksymalną 2,16 W przy współczynniku $c_p = 0,41$.

Informacje zgromadzone dzięki wykonanym obliczeniom wstępnym, badaniom numerycznym oraz fizycznym posłużyły do przygotowania geometrii podstawowych elementów prototypu turbiny i dyfuzora. Przed jego wykonaniem autor w **rozdziale 14** (Dokumentacja techniczna prototypu) przedstawił wyniki modelowania wytrzymałościowego elementów wirnika i dyfuzora. Prace te zostały zrealizowane za pomocą oprogramowania Elmer w którym zastosowano techniki obliczeniowe MES (metody elementów skończonych). Wizualizację wyników zrealizowano w postprocesorze ParaView. Autor sprawdził naprężenia i przemieszczenia powstające podczas pracy urządzenia a także siły osiowe oraz momenty skręcające. Na tej podstawie dobrane zostały materiały S235 oraz PA6. W oparciu o analizę odkształceń powstających na krawędzi sływowej dyfuzora zaprojektowano odpowiednie jego wzmocnienie. Sprawdzono także możliwość istnienia zjawiska kawitacji na płatach wirnika. Ryzyko to dla obliczonej prędkości obwodowej wynoszącej 13,1 m/s dla $n=250$ obr/min jest niewielkie, więc materiał użyty do konstrukcji turbiny nie musi być odporny na działanie tego procesu erozyjnego. Autor w dalszej części pracy podaje informacje odnoszące się do różnego rodzaju szczegółów konstrukcyjnych, co pozwala na stwierdzenie, że dochowuje on wielkiej dbałości o trwałość prototypu oraz zna zasady sztuki inżynierskiej w zakresie projektowania i wykonania maszyn i urządzeń wodnych. Zaplanowano rzeczywiste warunki pracy turbiny zarówno w warunkach pracy w sieci energetycznej (on-grid) jak również w trybie niepodłączenia do niej (off-grid). Zaplanowano także obwód rezystancyjny zapobiegający rozbiegowi turbiny w warunkach zaniku obciążenia. W **rozdziale 15** (Budowa prototypu) autor pracy przedstawia zdjęcia pozwalające na stwierdzenie, że prototyp jest jego autorstwa oraz uczestniczył on w jego wykonaniu. Na fotografii 22 widnieje prototypowa turbina przygotowana do transportu na miejsce docelowe.

W podsumowaniu (**rozdział 16**) autor odnosi się do uzyskanych wyników zarówno w modelowaniu numerycznym jak i modelu fizycznym (uruchomionym w warunkach laboratoryjnych).

W świetle uzyskanych parametrów pracy turbiny pozwolił sobie na stwierdzenie, że metody stosowane w technologii turbin wiatrowych są również użyteczne w przypadku kinetycznych turbin wodnych, z czym zgadza się autor niniejszej recenzji. W następnym podrozdziale autor pracy doktorskiej przyznaje, że prędkości występujące w rzekach (szczególnie płynących w Polsce) są zbyt niskie, by tego typu turbiny mogły pracować wydajnie. Podaje on jednocześnie przykłady lokalizacji turbin kinetycznych w których ich sprawność może okazać się dobra. Odnosi się także do potrzeby rozwoju urządzeń tradycyjnych oraz do stanu prawnego regulującego lokację wszelkich hydrozespołów na terenie naszego kraju. Na zakończenie możemy zapoznać się w przewidywanymi przez autora dalszymi pracami nad określeniem parametrów wytrzymałościowych i jakościowych stworzonego prototypu.

Ocena poziomu naukowego pracy

W przypadku tzw "doktoratów wdrożeniowych" pewne elementy przyjęte w metodyce badań naukowych nie istnieją. Celem tego typu prac jest osiągnięcie celu wdrożeniowego. Z tego powodu nie jest wadą niniejszej pracy brak analiz statystycznych. W niniejszym manuskrypcie autor pracy dowiódł zdolność do rozwiązywania skomplikowanych problemów natury technicznej i numerycznej. Okazał się także zdolnym inżynierem, potrafiącym zaprojektować i wykonać skomplikowane urządzenie. Nie można również nie dostrzec wielkiej dociekliwości autora nie wahającego się przebadać wielu wariantów konstrukcyjnych turbiny i dyfuzora.

Układ pracy jest poprawny. Autor udowodnił znajomość aktualnej literatury tematycznej oraz w sposób krytyczny i kreatywny odniósł się do aktualnego stanu wiedzy w zakresie światowej energetyki wodnej. W pracy odniesiono się do 112 pozycji publikacyjnych oraz odnośników internetowych. Cel pracy jest postawiony jasno a zastosowane narzędzia zarówno numeryczne jak i fizyczne są dowodem wysokiej umiejętności doktoranta w zakresie prac teoretycznych jak i praktycznych. Autor recenzowanej pracy potrafi określić zarówno możliwości jak i ograniczenia przyjętych założeń konstrukcyjnych a poznawszy je zaplanować odpowiednie środki zaradcze. Potrafi także określić zakres stosowalności wybranego rozwiązania oraz przedstawić parametry umożliwiające podjęcie środków zaradczych. Przyjęta metodyka umożliwiła osiągnięcie postawionego celu pracy, którym było opracowanie oraz wykonanie (wdrożenie) prototypu przepływowej turbiny wodnej. Należy też podkreślić duże doświadczenie i wysoką aktywność zawodową autora udowodnione spisem projektów zamieszczonym w **Załączniku**.

Uwagi szczegółowe

Złożoność procesów opisanych przez Autora jest bardzo duża. Mgr inż. Arkadiusz Szkudlarek jest praktykiem wykonującym wiele czynności inżynierskich. Można się więc zauważyć rzeczowe podejście do tematu w sposobie formułowania zdań, czy opisie rycin i tabel. W pracy zdarzają się niestety różnego rodzaju błędy językowe i liczne tzw "literówki" (zapraszam Autora pracy do

zapoznania się z tego typu uwagami zamieszczonymi przeze mnie w treści manuskryptu). W pracy znalazłem nieścisłości, które, moim zdaniem należy wyjaśnić:

- str 38, równania 3 - 5 - formuły są zapisane niepoprawnie, brak możliwości uzgodnienia jednostek,

- str 40, równanie 8 - wzór nieprawidłowy - wynik nie odpowiada zastosowanej formule,

- str 40, wykres 13 - błąd w przebiegu krzywej zależności $C_z = f(C_x)$,

str 42, ryc 17 - nie ma pewności czy zaznaczono środki przedziałów dr, czy środki ciężkości figur powstałych z podziału łopaty wirnika na analizowane obszary,

- str 44, równania od 17 do 23 - nie ma pewności, czy autor przedstawia przyrosty, czy różniczki wielkości P, T i S,

- str 64, wykres 19 - nie ma pewności, czy długość L1 równa 5000mm daje już optymalne wyniki ponieważ nie przeprowadzono obliczeń dla większych odległości,

- str 65, wykres 20 - nie ma pewności, czy długość L2 równa 15000mm daje już optymalne wyniki ponieważ nie przeprowadzono obliczeń dla większych odległości,

- str 67 - 71, ryc 39 - 54 - nie ma pewności, czy wartości L dla zmiennych średnic d_p są stałe czy zmienne. W związku z tym nie wiadomo, czy odpowiednie wielkości parametrów od a do e przedstawionych na stronie 61 są przy zmiennych średnicach d_p takie same, czy się różnią w wartościach bezwzględnych,

- str 88, rycina 80 - szczególnie dla prędkości 3 m/s widoczna jest silna asymetria pola prędkości. Czym to może być spowodowane? Brak komentarza w tekście,

- str 89, ryciny 81 - 89 - brak komentarza odnośnie przedstawionych wyników. Proszę wytłumaczyć zmiany kształtu trajektorii cząstek, ciśnienia albo wektorów prędkości,

- str 100, pierwsze zdanie, "Dla tak ... który nieznacznie spada do 0,79 ..."
Kiedy spadek współczynnika c_p byłby znaczący?

Dyskusja

Praca przedstawiona do recenzji imponuje dużą ilością przeprowadzonych analiz. Wszystkie parametry na poszczególnych etapach projektowania wirnika i dyfuzora są wykonane bardzo starannie. Nie znalazłem jednak wyraźnego celu wykonywania modelu fizycznego oraz jego przebadania w

korycie hydraulicznym. Jak przeprowadzenie tego etapu prac przyczyniło się do dopracowania parametrów wykonanego prototypu?

Turbiny kinetyczne pracując bez piętrzenia będą z pewnością osiągały mniejsze moce w porównaniu do rozwiązań tradycyjnych, co może przyczynić się do konieczności zwielokrotnienia instalacji w celu utrzymania produkcji energii elektrycznej. Recenzent w odniesieniu do proponowanego rozwiązania posiada więc kilka pytań:

1. Czy możliwe jest wykonanie turbiny kinetycznej posiadającej wysoką efektywność przy prędkościach wody występujących w polskich rzekach nizinnych? Jak wiadomo dla przepływów niskich i średnich są to prędkości rzędu 1 m/s. Może jest to możliwe do osiągnięcia przez zwiększenie wyróżnika szybkobieżności lub zwiększenie liczby łopat wirnika? Wiatrowe turbiny wielołopatowe osiągają dla przykładu sprawność powyżej 30% przy wyróżniku szybkobieżności poniżej wartości 1.
2. Czy przy zachowaniu zewnętrznych wymiarów hydrozespołu wyposażonego w dyfuzor możliwe jest osiągnięcie podobnych mocy uzyskiwanych przez samą powiększoną turbinę pracującą bez dyfuzora?
3. Czy możliwe jest zatrzymanie pracy wirnika w warunkach powodziowych, gdy prędkości w korycie rzeczonym przekroczą znacznie wartość 3,0 m/s?
4. Czy zespół pływający turbiny jest odporny na zdarzenia występujące podczas powodzi takie jak: duży ładunek transportowanego rumowiska unoszonego lub wleczonego, zmiany morfologii dna, płynące drzewa z podmytych skarp czy inne pływające elementy?
5. Czy proponowane urządzenie podczas pracy jest bezpieczne dla ryb oraz czy bezpieczne jest przepływanie kajakiem w jego pobliżu?
6. Czy możliwa jest lokalizacja tego typu turbin w pobliżu kąpielisk?

Podsumowanie

Należy docenić, że przedłożona praca może zostać określona jako pionierska ponieważ Autor śledząc aktualny stan wiedzy w dziedzinie turbin kinetycznych zaproponował kompleksowe rozwiązanie turbiny zaadoptowanej do warunków rzecznych. Wykonany prototyp został stworzony w oparciu o wariantowe analizy każdego z jego elementów. Autor zaprezentował bardzo dobry warsztat zarówno w sferze koncepcyjnej jak i modelowania numerycznego i fizycznego. W pracy zastosowano najnowsze narzędzia komputerowe, co przełożyło się na wykonanie dużej ilości analiz wariantowych. Szczególną uwagę przykuwa fakt wykonania modeli numerycznych dla wielu wariantów doboru płata, dyfuzora oraz prędkości przepływającej wody przedstawiony w tabeli 19. Widoczny jest proces poprawy konstrukcji wirnika na każdym etapie prac. Autor zakłada pierwotny kształt wirnika by następnie w wyniku kolejnych analiz numerycznych osiągać stopniową poprawę jego parametrów geometrycznych i hydraulicznych prowadzących do poprawy uzysku energii. Widoczne jest duże doświadczenie w projektowaniu, analizie oraz wykonaniu tego typu urządzeń. W procesie projektowym powstaje nowy kształt płata wirnika lepiej od pierwowzoru przystosowany do pracy w warunkach rzecznych.

Strona estetyczna pracy jest poprawna, choć zdarzają się niedociągnięcia w formie błędów językowych, błędów w zamieszczonych formułach czy niekompletnych legendach rycin i wykresów. Także przedstawienie efektów prac jest w kilku miejscach niejasne lub istnieje jego brak. Treść pracy jest jednak zrozumiała dla czytelnika. Przytoczone niedoskonałości nie osłabiają w ocenie recenzenta znacząco jakości przedstawionej pracy. Jej układ jest poprawny i czytelny. Przyjęta metodyka umożliwiła wykonanie koniecznych obliczeń oraz symulacji pracy turbiny prowadząc do przygotowania modelu fizycznego oraz prototypu zdolnego do pracy w warunkach rzeczywistych. Autor posiadając duże doświadczenie zawodowe sam wskazuje na możliwe problemy lub utrudnienia w stosowaniu proponowanego urządzenia.

Po zapoznaniu się z przedłożoną pracą i wykonaniu przeze mnie pozytywnej oceny jej całokształtu stwierdzam, że jest to materiał bardzo wartościowy, spełniający wymogi stawiane rozprawom doktorskim określonym w ustawie z 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. nr 65 poz 595 z późniejszymi zmianami). **Z tego powodu wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu o jej przyjęcie i dopuszczenie pana mgr inż. Arkadiusza Szkudlarka do publicznej obrony.**

Andrzej Stuczyński