

dr hab. inż. Natalia Walczak
Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 28,
60-637 Poznań

Poznań, 30.10.2023

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Arkadiusza Szkudlarka
pt. „Ekologiczna turbina mobilna wykorzystująca wodę swobodnie płynącą
do wytwarzania energii elektrycznej”

PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska Górnictwa i Energetyki, dr hab. inż. Justyny Hachoł, profesor UPWr z dn. 18.07.2023 r. informujące o wyznaczeniu mnie przez Radę Dyscypliny Inżynieria Środowiska Górnictwa i Energetyka uchwałą z dnia 10 lipca 2023 r. na recenzenta rozprawy doktorskiej pana mgr inż. Arkadiusza Szkudlarka pt. „Ekologiczna turbina mobilna wykorzystująca wodę swobodnie płynącą do wytwarzania energii elektrycznej”.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została napisana w Instytucie Inżynierii Środowiska na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Roberta Kasperka, prof. UPWr. Przedłożono mi komplet dokumentów niezbędnych do oceny rozprawy doktorskiej w wersji papierowej oraz stosowną umowę.

OPIS ROZPRAWY

Przedłożona rozprawa doktorska składa się z 161 stron z tego 130 stron tekstu, zawiera 105 rycin, 36 wykresów, 24 tabele, 22 fotografie oraz spis wykorzystanej literatury, który obejmuje łącznie 112 pozycji. Bogata bibliografia obejmuje 67 pozycji obcojęzycznych (głównie artykułów w j. angielskim), 16 pozycji krajowych oraz 29 strony internetowe.

Ocena poszczególnych elementów rozprawy doktorskiej:

Układ rozprawy doktorskiej jest poprawny. Praca składa się z szesnastu rozdziałów, które przedstawiają: podstawowe definicje i pojęcia analizowanego zagadnienia, aktualny stan wiedzy oraz krytyczne refleksje dotyczące wykorzystania mobilnej turbiny wodnej do wytwarzania energii jako przykład odnawialnych źródeł energii.

Rozdział pierwszy – zawiera spis głównych oznaczeń.

Rozdział drugi – doktorant przedstawił zalecenia Unii Europejskiej dotyczącej tzw. Europejskiego Zielonego Ładu oraz stanowisko Polski w tej kwestii. Rozdział kończy się opisem projektowanej turbiny jako przykładu nowego rozwiązania dla gospodarki pozbawionego wad konwencjonalnej energetyki wodnej.

Rozdział trzeci – mgr. inż. Szkudlarek prezentuje w nim literaturę przedmiotu, przechodząc od ogólnych informacji do szczegółowych. Na początku rozdziału scharakteryzowany został stan hydroenergetyki w Polsce, a w kolejnym podrozdziale wyszczególniono występujące bariery w jej rozwoju. Dwa kolejne podrozdziały szczegółowo opisują turbiny wodne i kinetyczne

Rozdział czwarty – to podsumowanie przeglądu literatury.

Rozdział piąty – w sposób zwięzły i logiczny Autor przedstawił cel i zakres pracy z podziałem na etapy uwzględniające projekt hydrauliczny i techniczny oraz badania numeryczne i laboratoryjne.

Rozdział szósty – Doktorant w tym rozdziale prezentuje obliczenia teoretyczne turbiny przy wykorzystaniu podstawowych wzorów.

Rozdział siódmy – zawiera opis etapów budowy modelu geometrycznego wirnika wraz z wykreśloną trajektorią pracy łopatki.

Rozdział ósmy – Autor prezentuje wyniki w symulacjach numerycznych modelu wirnika (który został poprawianie zdefiniowany). Poprawne jest zaimplementowanie turbiny wodnej wraz z jej otoczeniem. W rozdziale przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych wpływu parametrów geometrycznych kanału (R_k , L_1 , L_2) oraz średnicy wirnika na właściwości energetyczne turbiny. Wszystkie obliczenia udokumentowano graficznie. Rozważania zakończyły się wyborem optymalnego wirnika (z uwzględnieniem współczynnika szybkobieżności) do dalszych badań.

Rozdział dziewiąty – w pierwszym kroku Autor wytypował reprezentatywne obudowy turbiny, które zostały poddane badaniom. Wyniki obliczeń pokazały, że dodanie tego typu elementu wpływa na podniesienie wytwarzanej mocy.

Rozdział dziesiąty – zawiera model numeryczny obudowy turbiny, który podlegał badaniom przy różnych prędkościach przepływu cieczy.

Rozdział jedenasty – prezentuje model numeryczny turbiny, który składa się z wirnika i obudowy. Na podstawie sporządzonych charakterystyk podstawowych turbin wraz z badaniem rozkładu ciśnień, prędkości i linii prądu określono właściwości energetyczne.

Rozdział dwunasty – stanowi podsumowanie badań numerycznych, na podstawie których mgr Szkudlarek wskazał turbiny charakteryzujące się dużą elastycznością i wysokim współczynnikiem wykorzystania mocy.

Rozdział trzynasty – Autor opisuje stanowisko badawcze zlokalizowane w laboratorium wodnym im. Juliana Wołoszyna w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, metodologię przeprowadzanych badań oraz uzyskane wyniki.

Rozdział czternasty – to syntetyczne zestawienie dokumentacji technicznej prototypu. Rozdział zawiera wyniki z obliczeń naprężeń i odkształceń przy wykorzystaniu Metody Elementów Skończonych (MES) dla zasymulowanych dwóch odosobnionych obiektów t.j. wirnika i dyfuzora. Obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzono w programie Elmer i zaprezentowano z wykorzystaniem postprocesora ParaView. Przeprowadzenie analiz MES umożliwiło określenie zakresów naprężeń i odkształceń modelu przepływowego turbiny dla wybranej geometrii wirnika i dyszy. W rozdziale przedstawiono również szczegółową analizę wszystkich elementów składowych turbiny.

Rozdział piętnasty – zawiera dokumentację fotograficzną budowy prototypu turbiny.

Rozdział szesnasty – to podsumowanie uwzględniające wnioski, krytyczne refleksje oraz perspektywy kontynuacji badań.

Rozdział siedemnasty – jest spisem: rysunków, wykresów, tabel, fotografii i literatury.

Wykorzystane w pracy publikacje oraz monografie naukowe szczegółowo opisują zagadnienia dotyczące hydroenergetyki w Polsce oraz jej zagrożenia uwzględniając badania naukowców spoza Polski. Autor rozprawy dokładnie przeanalizował rozwój turbin wodnych począwszy od starożytności po lata współczesne i szczegółowo przedstawił turbiny kinetyczne.

Głównym celem pracy było skonstruowanie prototypowej mobilnej turbiny wodnej. Zakres pracy Autor sformułował poprawnie w następujący sposób:

1) Obliczenia teoretyczne turbiny, wirnika i obudowy co umożliwiło stworzenie trójwymiarowego hydraulicznego modelu przepływowego.

2) Obliczenia numeryczne turbiny, wirnika i obudowy.

3) Przeprowadzenie eksperymentu laboratoryjnego z zastosowaniem wybranej turbiny (elementy wykonano w technologii druku 3D).

4) Opracowanie dokumentacji technicznej i budowa prototypu turbiny.

Metody badawcze zostały opisane poprawnie. Doktorant przygotował pracę uwzględniając: charakterystykę elektrowni wodnej jako przykład odnawialnych źródeł energii, cele i przedmiot badania, które osiągnął budując prototyp turbiny, strukturę poznania naukowego poprzez przegląd literatury krajowej i zagranicznej oraz charakter naukowy poprzez użycie procedur badawczych. Uwzględnił w nich obserwacje (budowa modelu geometrycznego), symulacje (analizy numeryczne) oraz eksperyment (wykonanie modelu w skali i przeprowadzenie doświadczenia w laboratorium). Merytorycznie opis metod oraz wyników uzyskanych w pracy jest na wysokim poziomie. Jednak tekst został mocno rozdzielony przez co czytający ma pewne trudności w wyłapaniu najważniejszych elementów.

POZIOM NAUKOWY PRACY

Obecnie bardzo popularne i ważne staje się pojęcie zrównoważonego rozwoju, które dotyczy wszystkich aspektów życia. W związku z tym istotna staje się odpowiedzialność społeczna, której celem jest przygotowanie środowiska naturalnego i społeczeństwa na zmiany klimatyczne (których już doświadczamy, a z którymi przyszłe pokolenia będą się borykać). Dlatego należy podejmować wszelkie działania polegające na wykorzystaniu istniejących możliwości i wypracowaniu właściwych posunięć, aby następne pokolenia mogły cieszyć się środowiskiem naturalnym i poprawnie go eksploatować. Jednym z najważniejszych elementów natury jest woda, która jest źródłem życia i zdrowia, ale jest również niezwykle silnym żywiołem. Jest to przykład odnawialnego źródła energii, które charakteryzuje się ogromnym potencjałem energetycznym, generującym większą sumaryczną moc od elektrowni słonecznych czy wiatrowych.

Budowa elektrowni wodnej wymaga wysokich nakładów inwestycyjnych związanych głównie z budową zapory i towarzyszącej jej infrastruktury. Istnieją sposoby ograniczenia

kosztów poprzez zaadoptowanie istniejących już stopni wodnych co wiąże się z wykonaniem wymaganych ulepszeń budowlanych i hydraulicznych.

Wysokie spiętrzanie wody (warunek konieczny do produkcji energii) powoduje zawsze ingerencję w środowisko naturalne rzeki i otaczający ekosystem. Alternatywnym rozwiązaniem mogą być ekologiczne turbiny mobilne, umieszczane w nurcie rzeki.

Przedstawiona rozprawa wpisuje się w nurt badań nad udoskonalaniem pozyskiwania energii z wody mając na uwadze oddziaływanie elektrowni na środowisko naturalne. Autor wskazał, które z elementów konstrukcyjnych turbiny wpływają na pozyskiwanie większej ilości energii. Zbudował model geometryczny, zmiany przeanalizował numerycznie, a najlepsze rozwiązanie przebadał w warunkach laboratoryjnych. Wszystkie te czynności, które okazały się pracochłonne, poprzedziły budowę prototypu turbiny.

Plan przeprowadzonych badań jest poprawny i zawiera wszystkie istotne elementy eksperymentu badawczego.

Uzyskane analizy pozwoliły na stworzenie prototypu ekologicznej turbiny jako wynik połączenia interdyscyplinarnych badań z zakresu inżynierii środowiska, hydrauliki, elektryki i mechaniki. Szczególnie istotny jest rozdział „Turbiny kinetyczne”, w którym doktorant uwzględnił m.in. publikacje dotyczące istniejących modeli i prototypów tego typu urządzenia. Zauważył, że zasady wykorzystywane podczas ich opracowania wynikają z zastosowań aerodynamicznych i hydrodynamicznych urządzeń (o podobnym zastosowaniu jak turbiny wiatrowe i śruby napędowe statków). Doktorant dokonał również zestawienia działających prototypów turbin wraz z ich podstawowymi parametrami co stanowiło punkt odniesienia do własnego produktu.

Oceniana dysertacja została przygotowana poprawnie pod względem merytorycznym i metodycznym. Do najważniejszych osiągnięć rozprawy mgr inż. Arkadiusza Szkudlarka zaliczam:

1. Zbudowanie prototypu turbiny jako przykład unikalnego rozwiązania konstrukcyjnego, który wytwarza energię elektryczną niezależnie od pory dnia i warunków atmosferycznych. Poprawia bezpieczeństwo i zwiększa niezależność dostaw energii.
2. Wykazanie braku pełnych informacji o eksploatacji turbin kinetycznych przedstawianych przez producentów, co skutkować może dużą niepewnością w podjęciu decyzji o wykorzystaniu takiego typu urządzenia dla potencjalnych inwestorów.
3. Wskazanie możliwości lokalizacji mobilnej turbiny z uwzględnieniem parametrów geometrycznych przekroju rzeki.

4. Wykonanie obliczeń numerycznych wirnika z zaimplementowaniem turbiny wraz z jej otoczeniem.
5. Wykonanie badań numerycznych turbiny o określonej sprawności procesu konwersji energii od wału maszyny do zacisków generatora (η_{g+m}) i wybór optymalnego rozwiązania obejmujący dwie turbiny o średnicy $D_p = 1,5$ m o profilu NACA 63618 z różnymi współczynnikami szybkoobrotowości i dyfuzorem kołnierзовym.
6. Wyznaczenie charakterystyk analizowanych turbin z uwzględnieniem zależności współczynnika wykorzystania energii i mocy na wale turbiny od prędkości obrotowej wirnika.
7. Wykorzystanie Metody Elementów Skończonych do określenia naprężeń i odkształceń modelu turbiny dla wybranej geometrii wirnika i dyszy.
8. Wykonanie szczegółowej analizy wszystkich elementów składowych turbiny.

Pomimo pozytywnej ogólnej oceny pracy, jej lektura nasuwa pewne wątpliwości i pytania, które chciałabym przekazać Autorowi:

- Proszę wskazać potencjalnych „odbiorców” wytworzonej energii.
- W rozdziale 8, przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych wpływu średnicy kanału na moc turbiny i stwierdzono, że dla średnicy kanału 6000 mm nie obserwuje się znacznego spadku mocy turbiny. W jaki sposób nastąpi zakotwienie mobilnej turbiny w przekroju, jeżeli jej średnica wynosi 1,0 m i dla jakiej głębokości można ją stosować.
- Proszę oszacować czas albo roczny bilans wyprodukowanej energii po jakim nastąpi zwrot poniesionych kosztów wynikających z budowy turbiny.
- W trakcie pracy turbiny, na siatce zainstalowanej we wlotowej jej części osadzać się będą różnej wielkości elementy (biologiczne i organiczne). W jaki sposób odbywać się będzie czyszczenie siatki przy sugerowanej prędkości wody 3,0 m/s?
- W jaki sposób wytworzona energia będzie dostarczana do systemu energetycznego?
- Piśmiennictwo cytowane w pracy jest bardzo szerokie i obejmuje pozycje od lat 70, po współczesne. Proszę ustosunkować się do publikacji panów Zbigniewa Gorycy i Grzegorza Peczkisa dotyczącej przepływowej mikroelektrowni wodnej z 2022 roku.
- Czy przewiduje Pan pracę turbiny w hydrozespołach?
- W pracy występuje bardzo duża liczba rozdziałów, które mogłyby stanowić podrozdział np. Podsumowanie przeglądu literatury (wynika to z prezentowanej treści).

- Brak konsekwencji w cytowaniu. Artykuł Strużyński i in. 2015 nie pojawia się w spisie literatury zgodnie z zasadą przyjętą w pracy.
- Rozdział 1 to spis głównych oznaczeń, które powinny zawierać wszystkie występujące w pracy oznaczenia.

Przedstawione powyżej uwagi mają w zdecydowanej większości charakter uściślający i nie obniżają merytorycznej wartości rozprawy. Wymagają jednak pewnych odniesień przed publikacją wyników badań w renomowanych czasopismach naukowych.

UWAGI SZCZEGÓŁOWE

Praca została napisana w języku polskim, w stylu właściwym dla rozprawy doktorskiej. Pod względem edytorskim i redakcyjnym układ pracy mógłby zostać bardziej dopracowany ponieważ pojawiły się uchybienia :

- Numeracja stron parzystych w prawym dolnym rogu
- Brakuje w tekście odwołania do pozycji literatury od 15 do 25 oraz 80 i 81
- Niewłaściwe zacytowanie publikacji Nieć i in. 2016, w której pierwszym autorem jest Walczak N.
- W pracy oprócz bardzo starannie przygotowanych rycin i materiałów graficznych prezentujących wyniki symulacji występują także ryciny cytowane z innych prac o słabej jakości (np. ryc. 1-3). Powinny być one przerobione lub przerysowane.
- Brak objaśnień do elementów opisanych liczbami 1-3 na ryc. 1 i 2 na str. 16.
- Zdublowanie opisu ryc.3 (na prezentowanym przekroju i w opisie) na str. 17
- Brak opisu do oznaczeń na ryc.5
- Brak cytowania do niektórych rycin w tekście rozprawy np. ryc. 1-7 i fotografii 1-2, na str 16-22
- Brak przetłumaczenia opisów osi na wykresie 1 i 2 na str. 24
- Brak przetłumaczenia opisów ryc.13 na str. 28
- Inne czcionki i litery na wykresach 4-8 ze str.30-32
- Brak schematu lokalizacji turbiny i odległości L_1 i L_2
- Opis tab. 8 i 9 nie jest tożsamy z oznaczeniami w tabelach
- Brak tłumaczenia polskiego na ryc.64 na str.79
- Brak pełnej legendy na wykresie 32 na str.99
- Nieczytelna ryc. 92
- Brak cytowania znaczącej ilości rycin, wykresów fotografii pojawiająca się w całej pracy.

- W spisie literatury brak spójnych zasad, cytowane publikacje nie pojawiają się w kolejności użycia w tekście.

Wszystkie wymienione uwagi szczegółowe winny zostać uwzględnione podczas publikowania rozprawy i nie wpływają na merytoryczną ocenę pracy. Jednak należy zaznaczyć że znaczna ilość niecytowania rycin, tabel i fotografii istotnie utrudnia czytanie pracy.

PODSUMOWANIE

Praca pana mgr inż. Arkadiusza Szkudlarka przedstawiana jako rozprawa doktorska stanowi zwieńczenie jego rozważań dotyczących pozyskiwania energii wodnej z mobilnej turbiny jako przykład instalacji pozbawionej wad konwencjonalnych elektrowni wodnych. Założenia metodyczne i wykorzystany w badaniach potencjał wskazuje na innowacyjne podejście do problemu wykorzystania turbin kinetycznych. Przedstawione w recenzji uwagi nie zmniejszają merytorycznej wartości pracy. W pełnym zakresie stanowi bowiem ona oryginalne rozwiązanie aktualnego problemu naukowego. Problematyka przeprowadzonych badań mieści się w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Przedstawiony w recenzowanej pracy materiał badawczy w postaci wyników budowy modeli geometrycznych wirnika, obudowy i turbiny oraz wyników analiz numerycznych tych elementów stanowi cenne informacje i źródło wiedzy dotyczące wpływu tych elementów na wytwarzaną moc turbiny. Szczególnie ważna jest weryfikacja tych danych w przeprowadzonym doświadczeniu laboratoryjnym i w efekcie końcowym stworzenie prototypu turbiny. Całość pracy wzbogacono dokumentacją graficzną i fotograficzną, która podnosi walory estetyczne pracy jest obszerna i wartościowa. Autor osiągnął założone cele, i wykazał się umiejętnością analizowania badanego zjawiska co zaowocował budową prototypu turbiny. Innowacyjne rozwiązanie ma również charakter aplikacyjny. Zastosowanie tego typu turbiny może znaleźć licznych odbiorców w przemyśle m.in. wodnym i elektrycznym.

Doktorant potwierdził umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej na podstawie analizowanych badań, a recenzowana dysertacja zawiera istotne elementy oryginalne i poznawcze. W związku z tym stwierdzam, że rozprawa Pana mgr inż. Arkadiusza Szkudlarka spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim określonym w art. 187 ust 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 poz.742). Konkludując, zgodnie z powyższym stwierdzeniem wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria

Środowiska, Górnictwo i Energetyka na Wydziale Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu o dopuszczenie mgr inż. Arkadiusza Szkudlarka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Natalia Walczak

dr hab. inż. Natalia Walczak