

Piotr DOERFFER, prof. dr hab. inż.,
OŚRODEK PRZEPEŁYWÓW I SPALANIA
ul. Fiszera 14
80-231 Gdańsk
tel.: (+48) 58 5225 202
fax: (+48) 58 341-61-44
e-mail: doerffer@imp.gda.pl

Gdańsk, 15.03.2021

**Recenzja wniosku habilitacyjnego dr inż. Krzysztofa Rogowskiego
pt.: "Modelowanie siłowni wiatrowych o pionowej osi obrotu wykorzystując metody
numeryczne mechaniki płynów"**

Recenzja została opracowana na wniosek Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej, przekazanego przez Przewodniczącą prof. dr hab. inż. Roberta Sitnika.

I. Ocena osiągnięcia naukowego

1.1. Charakterystyka i ogólna analiza osiągnięcia - cel i zakres badań

Już sam tytuł habilitacji *'Modelowanie siłowni wiatrowych o pionowej osi obrotu wykorzystując metody numeryczne mechaniki płynów'* budzi zastrzeżenia. Po pierwsze, modelowanie metodami numerycznej mechaniki płynów nie jest zadaniem naukowym, a w kontekście elektrowni wiatrowych nie jest niczym nowym.

Po drugie, jeżeli tematem są elektrownie o osi pionowej, których są dwa podstawowe typy, to powinny one być potraktowane w podobny sposób i prowadzić do wniosków obejmujących całą kategorię wiatraków o osi pionowej. Natomiast, gdyby wyłączyć artykuł [8] z przedstawionego cyklu monotematycznego 12 artykułów, to tytuł habilitacji musiałby być związany jedynie z wirnikami Darrieus'a, co było tematem doktoratu.

Tytuł rozprawy doktorskiej brzmiał *'Analysis of Performance of the Darrieus Wind Turbines'*. Wszystkie prace przedstawione do habilitacji z wyjątkiem jednej [8] poświęcone są tematyce dokładnie odpowiadającej tematowi rozprawy doktorskiej. W autoreferacie nie znalazłem wyjaśnienia autora na temat rozdziału pomiędzy osiągnięciami w doktoracie od tych, które zalicza do osiągnięć liczonych do habilitacji.

Autor sam pisze w autoreferacie: *'Głównym celem badawczym mojej pracy była analiza obciążeń aerodynamicznych łopat wirników siłowni wiatrowych o pionowej osi obrotu oraz analiza nieustalonych pól prędkości w otoczeniu tych wirników'*. Tak sformułowany cel pracy trudno nazwać stawianiem zagadnienia naukowego, co potwierdza lista zadań, które mają prowadzić do jego realizacji. Zadania te polegają na sprawdzeniu jak różne modele turbulencji wpływają na wyniki symulacji numerycznych, oraz jak różne parametry pracy wirnika wpływają na obciążenie łopat czy strukturę przepływu. Na brak podejścia naukowego wskazuje także brak stawiania jakichkolwiek hipotez, które autor próbowałby uzasadnić.

1.2. Ocena cyklu publikacji naukowych powiązanych tematycznie

Przedstawiony monotematyczny cykl publikacji jest bardzo słaby. W jedynym artykule [1] o najwyższej randze za 200 punktów, udział kandydata wynosi jedynie 10%. Poza tą publikacją są dwa artykuły w MDPI Energies za 140 punktów, co jest najbardziej liczącym się wkładem habilitanta do przedstawionego cyklu publikacji. Wszystkie pozostałe artykuły jednakże są opublikowane w czasopismach o bardzo niskiej randze, więc trudno powiedzieć, że wartość naukowa przedstawionego w nich dorobku jest właściwie oceniona. Osiem z przedstawionych publikacji w punktacji ministerialnej ma 20 punktów lub mniej.

W wielu miejscach autor podkreśla naukowość prowadzonych przez siebie prac, a tak naprawdę pokazuje wyniki numeryczne symulacji przypadków, do których znalazł w literaturze dane eksperymentalne. W tym kontekście porównuje wyniki uzyskane różnymi modelami turbulencji. Takie podejście nie stanowi o „naukowości” pracy. Kandydat niewątpliwie wykazał się umiejętnością prowadzenia symulacji numerycznych wirników o osi pionowej ale nie przedstawił faktycznego celu naukowego swoich prac.

W prowadzonych symulacjach habilitant posługuje się różnym podejściem do modelowania turbulencji przepływu. Habilitant testował SST $k-\omega$ oraz RNG $k-\epsilon$. W celu badania wybranych aspektów stosował również SAS (scale adaptive simulations), symulacje z przejściem laminarno-turbulentnym oraz przepływ laminarny. W większości symulacji autor stosował siatki hybrydowe strukturalno-niestrukuralne.

Autor nie uzasadnił doboru publikacji pod kątem wybranych przypadków pomiarowych. Przydatne jest jednak krótkie omówienie listy publikacji z podanymi parametrami przypadków pomiarowych i danymi dotyczącymi wirnika w sekcji 4.3.3. Kandydat pokazał co badał i jakie uzyskał wyniki, ale jednak brak jest wyjaśnienia motywacji i celu omawianych badań. Umiejętnością prowadzenia symulacji numerycznych, jest ważną podstawą do prowadzonych analiz ale nie na tym polega praca habilitacyjna. Za przykład może posłużyć tu wniosek z pracy [3] na stronie 13 autoreferatu, który brzmi: *Częstotliwość sił aerodynamicznych wału jest o 114% wyższa w porównaniu z częstotliwością obciążeń aerodynamicznych łopat*. Jest to wniosek budzący wiele pytań, ale autor w autoreferacie nie próbuje nawet wyjaśnić tej kwestii.

Jedna z prac odnosi się do wirnika o dużym wypełnieniu tzn. o dużej cięciwie łopat względem średnicy wirnika. Autor pisze, że do najważniejszych osiągnięć naukowych przedstawionych w tej publikacji można zaliczyć: *‘że model SST $k-\omega$ zadziwiająco dobrze poradził sobie z wyznaczeniem współczynnika mocy wirnika w funkcji wyróżnika szybkobieżności. W zakresie niskich wyróżników szybkobieżności otrzymane rezultaty numeryczne całkiem dobrze zgadzają się z wynikami eksperymentalnymi dostępnymi w literaturze’*. Taki wniosek trudno nazwać naukowym, bo dotyczy jednego przypadku i nie został jakoś uogólniony.

Wydaje się, że głównym uzasadnieniem wyboru badanych przypadków było istnienie materiału doświadczalnego, wykorzystanego do porównania z wynikami symulacji numerycznych przeprowadzonych przez habilitanta. W pięciu publikacjach [4, 5, 10, 11, 12] medium nie jest powietrze tylko woda. W tych wszystkich przypadkach prędkość napływu była bardzo mała 0,091 m/s. Wybór tych parametrów nie został skomentowany. Natomiast podawanie w danych wirnika ‘wind velocity’ wprowadza czytelnika w błąd, że chodzi tu o

przepływ powietrza. Wątpliwości budzi natomiast niezmiernie mała prędkość napływu, a wiadomo, że wirnik Darrieus'a przy małych prędkościach wiatru trzeba napędzać.

Ciekawym przypadkiem zajmuje się publikacja [6], gdzie wyniki symulacji numerycznych są porównywane z dwoma eksperymentami. Głównym celem tej pracy są siły aerodynamiczne na łopacie. Symulacje numeryczne obejmują przypadek z przejściem laminarno-turbulentnym. Poważne wątpliwości budzi jednak wybrany przypadek. Prędkość wiatru (powietrza a nie wody) wynosi 1,88 m/s. Wiadomo, że wirnik Darrieus'a nie startuje przy tak małych prędkościach, tym bardziej wirnik dwułopatowy. Ale założono $TSR = 5$, co oznacza chyba, że wirnik był napędzany? Co reprezentuje taki przypadek?

1.3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Autor omawiając metody analizy wirników Darrieusa, jak BEM (Boundary element method) i inne metody analityczne, jako podstawowe metody inżynierskie stwierdza na stronie 8 autoreferatu, że wszystkie one nie są metodami deterministycznymi. Tylko CFD jest taką metodą, stwierdza autor. Jest to stwierdzenie wskazujące na jakieś nieporozumienie, bo przecież wymienione metody inżynierskie nie są metodami stochastycznymi.

Habilitant podkreśla jako swoje ważne osiągnięcie publikację [5] zawierającą porównaniem wyników obliczeń jednołopatowej turbiny z dwoma modelami turbulencji i przepływu laminarnego. Wirnik pracuje w wodzie przy prędkości napływu około 0,1 m/s. Szkoda tylko, że jest to mało znacząca publikacja za 20 punktów. Autor podkreśla, że jest on pierwszym, któremu udało się uzyskać akceptowalne rezultaty sił aerodynamicznych łopat stosując model laminarny. Stwierdza, że praca [5] daje wskazówki do dalszych badań w tym kierunku. W kilku miejscach autor stwierdza, że laminarne symulacje przepływów niestacjonarnych, tak jak w przypadku symulacji wirników, jest w pewnym sensie metodą Direct Numerical Simulation (DNS). W artykule [5] na Fig.12 wskazuje, że warstwy przyścienne w symulacjach wspomnianymi modelami turbulencji są gładkie, natomiast w symulacjach laminarnych warstwy przyścienne i ślad pełne są dużych struktur wirowych. Autor tłumaczy, że *'such oscillatory behaviour is typical for unsteady laminar simulations which is direct numerical simulation'*. W innych miejscach autor powtarza tą równowagę analizy przepływu laminarnego z DNS, mówiąc w artykule [10]: *In the laminar approach, no turbulence model is considered. Two equations of momentum and equation of continuity are solved only. Therefore, the presented approach can be treated as a direct numerical simulation (DNS) approach.* Autor podkreśla, że uzyskane przez niego dobre wyniki z przepływem laminarnym, lepsze niż u innych badaczy, wymagają odpowiednio gęstej siatki i małego kroku czasowego. Podawane przez niego wielkości siatki ani krok czasowy nie robią jednak wrażenia.

Jest to zaskakująca i błędna konkluzja. Widocznie autor zapomniał, że laminarne symulacje wprowadzają do obliczeń jedynie lepkość czynnika. Widocznie ta mała lepkość jest przyczyną powstania omawianych struktur w artykule [5]. Lepkość w symulacjach laminarnych jest znacznie mniejsza niż dodatkowa lepkość generowana przez przepływ turbulentny. Symulacje DNS, które pozwalają na bardzo szczegółową analizę wszystkich struktur turbulencji powodują właśnie generację tej dodatkowej lepkości turbulentnej. Jest to zasadnicza różnica w stosunku do symulacji laminarnych. Ponadto prowadzenie symulacji DNS wymaga innych schematów numerycznych i innych rozdzielczości czasoprzestrzennych. Autor w niektórych miejscach pisze o tym aspekcie podejścia DNS, dlatego przekaz

podawany przez habilitanta w tej kwestii jest niespójny. Stwierdzenie w wielu miejscach, równoważności swoich symulacji laminarnych z DNS jest błędem.

Drugim ważnym osiągnięciem autora jest opracowanie wstępnej koncepcji autorskiej metody przeznaczonej do wyznaczania osiągow wirnika Darrieusa, opartej na klasycznym sformułowaniu URANS oraz teorii elementu łopaty. Metodę tę nazwał habilitant Actuator Cell Model (ACM). Model ten jest jednak w procesie rozwoju. Niektóre rezultaty zaprezentowane zostały w trzech artykułach [7, 10, 12], które potwierdzają jego skuteczność w badaniu pola prędkości. Model ten wymaga zadania rozkładu sił na łopacie. Jak autor pisze, obecnie model ten jest w stanie analizować nieustalone parametry pola prędkości w śladzie za wirnikiem. Autor sam pisze, że przedstawiony model jest w trakcie rozwoju, co wskazuje raczej na przedwczesne wystąpienie z wnioskiem habilitacyjnym.

Ciekawe, że zastosowanie modelu ACM i jego porównywanie z eksperymentem i innymi symulacjami numerycznymi w artykułach [10, 12] wykonane było dla medium, którym jest woda i dla bardzo małej prędkości napływu, poniżej 1 m/s. przy czym TSR wynosił 5. Przedstawione porównanie wyników, jak w artykule [7] na Fig.2 oraz Fig.3 nie pokazują przewagi tego modelu nad symulacjami CFD. W powyższych artykułach brakuje pokazania działania tej metody w kontekście charakterystyki wirnika w szerszym zakresie TSR.

W analizach przedstawionych przez kandydata głównym obiektem zainteresowania są siły aerodynamiczne działające na łopaty. W wielu przypadkach brakuje jednak ulokowania badanego punktu pracy wirnika na jego charakterystyce.

II. Ocena dorobku naukowego

Kandydat wybrał tematykę bardzo nośną, w ramach której można postawić wiele zadań naukowych. Jest wiele zagadnień pozwalających na stawianie hipotez i możliwości ich szczegółowej analizy.

Z przedstawionego wniosku habilitacyjnego wynika, że kandydat widzi największą wartość swojej pracy w umiejętności prowadzenia symulacji numerycznych wirników o osi pionowej. Tak naprawdę koncentruje się jednak głównie na wirnikach Darrieus'a. Na podstawie uzyskanych wyników oraz porównania ich z danymi eksperymentalnymi stwierdza, że jedne wyniki są lepsze od drugich, ale brak jest jakiegoś uzasadnienia. Pokazuje pewne aspekty własnego wkładu w uzyskiwanie dobrego porównania z wynikami eksperymentalnymi. Wyciąganie wniosków z przedstawionych porównań różnych metod symulacji nie jest jednak podporządkowane uzasadnieniu stawianych hipotez.

Usprawnienie i przyspieszenie procesu symulacji doprowadziło autora do zaproponowania Actuator Cell Model (ACM). Zastąpienie łopat siłami aerodynamicznymi przyspiesza znakomicie proces obliczeniowy. Wymaga jednak znajomości tych sił, zmiennych w czasie. Model ten pozwala na analizę struktury przepływu za wirnikiem i analizę przebiegu śladu, może więc stać się przydatnym narzędziem w przyszłości do pewnych przypadków przepływowych. To narzędzie jest jeszcze w stanie rozwoju.

Oceniając przedstawiony wniosek w aspekcie osiągnięcia naukowego uważam, że jest on niedostateczny. Moim zdaniem wniosek jest przedwczesny. Brakuje w nim wyraźnego postawienia zadania naukowego. Brakuje również uzasadnienia wyboru publikacji

dokumentujących osiągnięcia naukowe. Nowy model opracowany przez autora jest jeszcze w fazie rozwoju, jak pisze autor, pomimo że uzyskano już pozytywne wyniki.

Habilitant nie podaje listy konferencji z wyjątkiem dwóch, związanych a artykułami [12] z konferencji KKMP-2018 oraz [11] w 2016 z konferencji TOReUE 2016 w Monachium. Kandydat nie podaje swoich danych bibliometrycznych. Znalezione przeze mnie dane wskazują na index Hirscha 5, co jest dobrym wynikiem do habilitacji.

Reasumując, moja ocena wniosku habilitacyjnego pod kątem zawartości naukowej jest negatywna.

III. Ocena dorobku dydaktycznego i organizacyjnego

W ocenie dorobku organizacyjnego warto podkreślić współpracę z jednym ośrodkiem zagranicznym w Danii, znanym uniwersytetem DTU. Ważnym jest, że z tej współpracy wyniknęło pięć wspólnych artykułów naukowych. Kandydat został zaakceptowany przez tamto środowisko naukowe skoro powierzono mu niezależną część w publikacji [1] przeprowadzenia symulacji komercyjnym kodem ANSYS (określoną na 10% udziału).

Należy tu, w części recenzji dotyczącej działalności organizacyjno-dydaktycznej, zaznaczyć że powyższa współpraca była realizowana w ramach projektu „Program rozwoju dydaktycznego Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej”, a nie w ramach projektu naukowo-badawczego. Ważne jest, że nawet w tych warunkach kandydat zdołał wykorzystać zaistniałe możliwości do prowadzenia swoich zadań naukowych i nawiązać odpowiednie kontakty naukowe.

Kandydat jest od 2016 roku członkiem komitetu organizacyjnego konferencji Mechanika w Lotnictwie. Ta działalność dotyczy trzech edycji konferencji XVII, XVIII i XIX odpowiednio w latach 2016, 2018 i 2020.

Kandydat jest członkiem dwóch organizacji naukowych: PTMTS oraz PSIW.

Na Politechnice prowadzi zajęcia ze studentami. Wymienia 6 przedmiotów, z których prowadzi ćwiczenia i laboratoria dla studiów stacjonarnych i niestacjonarnych. W tematyce „Drgania” prowadzi również wykład od 2018 roku dla studiów niestacjonarnych. W procesie dydaktycznym był promotorem 11 prac dyplomowych inżynierskich i magisterskich, głównie z tematyki wiatrakowej. W 2019 oraz w 2020 roku po dwie prace dyplomowe znalazły się w finale konkursu organizowanym przez SIMP.

W 2019 jedna z dyplomantek wnioskodawcy wykonała pracę magisterską w ramach wymiany studenckiej z DTU w Danii. Kandydat przewodził również grupie studentów uczestniczących w konkursie EDPR University Challenge 2017. Grupa znalazła się w finale z pracą na temat wirnika Darrieusa.

Kandydat jest też promotorem pomocniczym w pracy doktorskiej na temat przejścia laminarno-turbulentnego na łopacie turbiny Darrieusa.

Kandydat uzyskał wyróżnienie pierwszego stopnia od Rektora Politechniki Warszawskiej za osiągnięcia naukowe w 2018 roku. Uzyskał również wyróżnienie w ogólnopolskim konkursie (prof. Jana Szmeltera) oddziału Łódzkiego PTMTS.

Podsumowując dorobek organizacyjno-dydaktyczny kandydat udziela się intensywnie na wydziale będąc kierownikiem laboratorium i administratorem strony internetowej Zakładu Mechaniki. Jednakże brakuje, udziału w szerokim międzynarodowym środowisku naukowym, co dla samodzielnej pracy badawczej jest bardzo ważne. Będąc pracownikiem takiego wydziału jak MEiL możliwości szerokiej współpracy wykraczającej poza własną uczelnię i kraj są dostępne. Dlatego uważam, że ta działalność jest jeszcze słaba, potwierdzająca przedwczesne złożenie obecnego wniosku.

IV. Ocena końcowa

Podsumowując przedstawioną tu recenzję uważam, że kandydat w nieodległej przyszłości będzie mieć wszelkie predyspozycje do tego, aby ubiegać się o stopień doktora habilitowanego pod warunkiem, że:

- sformułuje prawdziwe zadanie naukowe w ramach zagadnień wirników Darieus'a,
- opublikuje kilka prac o punktacji od 100 pkt w górę,
- rozszerzy współpracę naukową na inne ośrodki zagraniczne i pogłębi współpracę z DTU.

Na obecnym etapie uważam, że złożony wniosek nie odpowiada standardom wymaganym od habilitacji i oceniam go jako przedwczesny.

