

Warszawa, 15-06-2023

dr hab. Marek Andrzej Rabiński
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
ul. Andrzeja Sołtana 7
05-400 Otwock

Recenzja wniosku dr inż. Tomasza Kowalczyka o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna

Podstawa opracowania i przedmiot recenzji

Podstawą sporządzenia recenzji jest:

- Uchwała Rady Naukowej Instytutu Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk z dnia 7 marca 2023, w sprawie wyznaczenia członków komisji habilitacyjnej w postępowaniu dotyczącym dr inż. Tomasza Wojciecha Kowalczyka, powołująca na wniosek Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów niżej podpisanego na recenzenta w w/w postępowaniu habilitacyjnym.

Przedmiotem recenzji jest skierowany do Centralnej Komisji Do Spraw Stopni i Tytułów wniosek dr inż. Tomasza Kowalczyka o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego, na podstawie osiągnięcia naukowego pt. „Zaawansowana integracja konwencjonalnych, jądrowych oraz odnawialnych źródeł energii z zastosowaniem magazynów energii sprężonego powietrza, termicznej i chemicznej”. Postępowanie habilitacyjne prowadzone jest przed Radą Naukową Instytutu Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Recenzję opracowano na podstawie następujących dokumentów przesłanych przez Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk:

- autoreferatu zawierającego życiorys naukowy i przebieg działalności naukowo-badawczej, opisu osiągnięcia naukowego oraz przebiegu działalności dydaktycznej i organizacyjnej,
- tekstów opublikowanego cyklu artykułów stanowiących osiągnięcie naukowe dr inż. Tomasza Kowalczyka pt. „Zaawansowana integracja konwencjonalnych, jądrowych oraz odnawialnych źródeł energii z zastosowaniem magazynów energii sprężonego powietrza, termicznej i chemicznej”,
- wykazu opublikowanych prac naukowych, wraz z oświadczeniami współautorów o ich roli i udziale w opracowaniu artykułów,

- spisów publikacji naukowych Habilitanta, cytowań prac, danych naukowometrycznych – zamieszczonych na stronach portali:
 - platformy Web of Science (Clarivate), ResearcherID: AAL-9907-2021 – <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2263018>
 - profilu ORCID 0000-0002-1334-5134 – <https://orcid.org/0000-0002-1334-5134>
 - bazie danych naukowych scopus.com (Author ID: 57219573539) – <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57219573539>
 - profilu Google Scholar (scholar.google.com) – <https://scholar.google.com/citations?user=6clUfacAAAAJ>
 - portalu mostwiedzy.pl <https://mostwiedzy.pl/pl/tomasz-kowalczyk,138615-1>
 - oraz wykazów MEiN/MNiSW punktacji czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych.

Dane ogólne o przebiegu działalności naukowej i zawodowej Habilitanta

Dr inż. Tomasz Wojciech Kowalczyk

- w 2011 roku uzyskał tytuł inżyniera na Politechnice Gdańskiej, Wydziale Oceanotechniki i Okrętownictwa, na podstawie pracy dyplomowej „Projekt wstępny turbozespołu dla mikrośiłowni kogeneracyjnej”
- w 2012 roku uzyskał tytuł magistra inżyniera na Politechnice Gdańskiej, Wydziale Mechanicznym, na podstawie pracy dyplomowej „Analiza techniczno-energetyczna możliwości zastosowania siłowni okrętowej parowej o mocy 50MW z wytwornicą pary ogrzewaną helem chłodzącym reaktor jądrowy wysokotemperaturowy”
- w 2018 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie naukowej mechanika, specjalności termodynamika w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku – na podstawie rozprawy doktorskiej „Analiza termodynamiczna jądrowego obiegu energetycznego skojarzonego z produkcją wodoru”.

Swoją działalność naukową prowadził w latach 2013-2019 jako specjalista, a od 2019 do chwili obecnej – jako adiunkt w Zakładzie Konwersji Energii, Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku.

Analiza osiągnięcia naukowego przedstawionego do postępowania habilitacyjnego

Przedstawionym przez dr inż. Tomasza Kowalczyka osiągnięciem naukowym pt. „Zaawansowana integracja konwencjonalnych, jądrowych oraz odnawialnych źródeł energii z zastosowaniem magazynów energii sprężonego powietrza, termicznej i chemicznej” są powiązane tematycznie następujące prace naukowe (przy każdej pozycji został zaznaczony wkład Habilitanta, punktacja czasopisma oraz cytowalność pracy wg różnych platform naukometrii):

- 1) Kowalczyk T. *Comparative analysis of hybrid energy storage based on a gas-gas system and a conventional compressed air energy storage based on a*

- recuperated gas turbine round trip efficiency, exergy losses, and heat exchanges start-up losses*. Energy Conversion and Management 258, 2022, 115467.
DOI <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115467>
(IF 2020 = 9.71, 200 pkt. MeiN), (WoS: 2 cytowania), (Scopus: 2 cytowania),
(Google Scholar: 3 cytowania)
Indywidualna praca Autora.
- 2) Bartnik R., Kowalczyk T. *Hierarchical Gas-Gas Systems: Thermal and Economic Effectiveness*. Springer Nature Switzerland AG, Cham 2021, ISBN 978-3-030-69205-6
(80 pkt. MeiN), (Scopus: 2 cytowania)
Wkład Autora polegał na: opracowaniu koncepcji integracji obiegu gazowo-gazowego z magazynem energii CAES, opracowaniu koncepcji zasilania obiegu gazowo-gazowego wysokotemperaturowym reaktorem jądrowym HTR, udziale w budowie modeli termodynamicznych rozważanych obiegów termodynamicznych w środowisku Engineering Equation Solver, przeprowadzeniu analiz parametrycznych, opracowaniu charakterystyk oraz opracowaniu graficznym schematów, udziale w przeglądzie literatury, udziale w tworzeniu treści oraz tłumaczenia monografii na język angielski.
- 3) Bartnik R., Kowalczyk T. *Thermodynamic and economic analysis of the hierarchic gas-gas power plant cooperating with a compressed air energy storage*. Energy Conversion and Management 234, 2021, 113918
DOI <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.113918>
(IF 2020 = 9.71, 200 pkt. MeiN), (WoS: 3 cytowania), (Scopus: 4 cytowania, FWCI=1.3)
Wkładem Autora było postawienie hipotezy badawczej, opracowanie koncepcji pracy, budowa modelu termodynamicznego, przeprowadzenie analizy parametrycznej, opracowanie charakterystyk oraz schematu instalacji, przegląd literatury, napisanie artykułu
- 4) Kowalczyk T., Badur J., Ziółkowski P. *Comparative study of a bottoming SRC and ORC for Joule-Brayton cycle cooling modular HTR exergy losses, fluid-flow machinery main dimensions, and partial loads*. Energy 206, 2020, 118072, 1-16
DOI <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118072>
(IF 2020 = 7.15, 200 pkt. MNiSW), (WoS: 11 cytowań), (Scopus: 12 cytowań), (Google Scholar: 17 cytowań)
Wkładem Habilitanta jest hipoteza badawcza, opracowanie koncepcji pracy naukowej, budowa modeli termodynamicznych rozważanych obiegów, przeprowadzenie analizy egzergetycznej, analizy podstawowych wymiarów maszyn przepływowych, przeprowadzenie analizy parametrów obiegu przy obciążeniach częściowych, opracowanie charakterystyk oraz schematów obiegów termodynamicznych, przegląd literatury, napisanie artykułu w języku angielskim.
- 5) Kowalczyk T., Badur J., Bryk M. *Energy and exergy analysis of hydrogen production combined with electric energy generation in a nuclear cogeneration cycle*. Energy Conversion and Management 198, 2019, 1-10
DOI <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111805>
(IF 2019 = 8.21, 200 pkt. MniSW), (WoS: 46 cytowań), (Scopus: 51 cytowań, FWCI=3.32), (Google Scholar: 56 cytowań)
Wkładem Autora jest postawienie hipotezy badawczej, opracowanie koncepcji pracy, budowa modelu termodynamicznego, analiza energetyczna i egzergetyczna, analiza parametrów obiegu przy obciążeniach częściowych,

- opracowanie charakterystyk oraz schematów obiegów termodynamicznych, przegląd literatury, napisanie artykułu w języku angielskim
- 6) Ziółkowski P., Kowalczyk T., Lemański M., Badur J. *On energy, exergy, and environmental aspects of a combined gas-steam cycle for heat and power generation undergoing a process of retrofitting by steam injection*. *Energy Conversion and Management* 192, 2019, 374– 384, DOI <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.04.033> (IF 2019 = 8.21, 200 pkt. MniSW), (WoS: 32 cytowania), (Scopus: 37 cytowań, FWCI=2.33), (Google Scholar: 44 cytowania)
Wkład Autora polegał na przeprowadzeniu analizy egzergetycznej oraz udziale w tworzeniu treści pracy w języku angielskim.

Ocena przedstawionego osiągnięcia naukowego

Wymienione artykuły stanowią cykl powiązanych tematycznie prac, składających się zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. 2022 poz. 547 ze zm.) – na osiągnięcie naukowe pt. „Zaawansowana integracja konwencjonalnych, jądrowych oraz odnawialnych źródeł energii z zastosowaniem magazynów energii sprężonego powietrza, termicznej i chemicznej”.

Przedstawione do oceny artykuły zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym: *Energy Conversion and Management* oraz *Energy* (oba o punktacji równej 200 pkt. w wykazach MEiN/MNiSW czasopism naukowych), a monografia wydana przez renomowane wydawnictwo Springer. Część z nich jest efektem pracy zespołowej, jednakże powstały przy znacznym udziale Habilitanta – potwierdzonym oświadczeniami współautorów.

Tematyka badawcza zawarta w prezentowanym osiągnięciu związana jest z pracą krajowego systemu elektroenergetycznego, w skład którego wchodzi elektrownie konwencjonalne, jądrowe (typu PWR i BWR oraz wysokotemperaturowe typu HTR), elektrownie wodne i szczytowo-pompowe, odnawialne źródła energii oraz układy pośredniego ogniwa procesu magazynowania energii (zbiorniki sprężonego powietrza, magazyny energii termicznej i chemicznej), a także z etapem odzyskiwania energii elektrycznej ze zmagazynowanej. Istotnym aspektem bezpieczeństwa eksploatacji systemu krajowego jest bilansowanie mocy czynnej w warunkach zmiennego i chwilami trudnego do przewidzenia zapotrzebowania ze strony odbiorców. Elementy tego systemu znacząco różnią się między sobą fizyką procesu generacji i możliwościami dystrybucji energii elektrycznej (ograniczeniami eksploatacyjnymi, charakterystykami pracy elektrowni poszczególnych typów, możliwościami szybkiego uruchomienia i/lub wyłączenia z eksploatacji). Dodatkowo należy uwzględnić pogorszenie ekonomiki pracy w nieoptymalnych warunkach (eksploatacji elektrowni jądrowych i dużych elektrowni ciepłych poza podstawą zapotrzebowania systemu – w warunkach odbiegających od stałej, maksymalnej mocy). Kolejnymi parametrami są sprawności procesu magazynowania i odzyskiwania energii, oraz straty typu parowania wody ze zbiornika elektrowni szczytowo-pompowej.

W systemie polskim znaczącym utrudnieniem jest brak warunków hydrologicznych i geograficznych do budowy elektrowni wodnych większej mocy, a nawet mocno ograniczone możliwości budowy elektrowni szczytowo-pompowych – czyli rozwiązań o wysokiej sprawności procesu magazynowania i odzyskiwania energii. W szerokiej analizie tego rozwiązania niezbędne jest uwzględnienie strat energii w pompoturbinach i rurociągach w trakcie cykli ładowania i rozładowania układu, a także strat powodowanych odparowaniem wody ze zbiornika. Obok magazynów sprężonego powietrza rozważane jest także zalewanie wodą zbiorników podziemnych lub wyeksploatowanych kopalń, traktując je jak dolny zbiornik elektrowni szczytowo-pompowej.

Pracujące w systemie elektrownie wiatrowe, pływowe i fotowoltaiczne charakteryzują się silną zależnością od warunków atmosferycznych, nie pokrywających się z zapotrzebowaniem odbiorców na energię, oraz trudną do precyzyjnego prognozowania dużą zmiennością generowanej mocy czynnej (powiey wiatru, zmienne zachmurzenie w przypadku paneli słonecznych, a sztormy dla elektrowni opartych na wykorzystaniu falowania mórz). Wymusza to na pozostałych elektrowniach dostosowywanie się do tych zmian, w szczególności zamiast ciągłej pracy dużych bloków energetycznych z maksymalną mocą w podstawie zapotrzebowania systemu – licznych zmian obciążeń, a nawet odstawień bloków w ciągu doby. Sytuacja ta prowadzi do istotnego pogorszenia wskaźników ekonomicznych jednostek wytwórczych oraz do zwiększenia ich technicznej awaryjności. Wzrost mocy zainstalowanej w instalacjach fotowoltaicznych prowadzi też do wahań cen – poprzedzających prognozowane okresy dużego nasłonecznienia. Analogicznie prognozy wiatrów wpływają na chwilowe ceny energii z instalacji wiatrowych.

Powyżej przedstawione przesłanki uzasadniają konieczność prowadzenia dogłębnej analizy naukowej kierunków rozwoju systemu magazynowania energii w dolinach obciążenia, możliwych do efektywnej integracji z pozostałą strukturą systemu energetycznego – rozwiązań połączenia zróżnicowanego zestawu typów posiadanych i planowanych bloków energetycznych oraz technologii odnawialnych źródeł energii (wiatrowych, pływowych, fotowoltaicznych) z magazynami energii. W przyszłości specyficzną techniką magazynowania nadmiarowej energii elektrycznej może być też produkcja wodoru do wykorzystania w silnikach środków transportu.

Zagadnienie analizy współpracy elektrowni wchodzących w skład systemu energetycznego z układami magazynowania energii jest przedmiotem pracy naukowej Habilitanta – przedstawionego osiągnięcia naukowego.

W pracach przeprowadzonych przez Autora przedstawiono analizy zarówno typowych parametrów termodynamicznych (sprawności obiegów, destrukcji energii) oraz ekonomicznych (NPV – porównania wydatków ponoszonych w celu realizacji inwestycji z przewidywanymi przepływami pieniężnymi w przyszłości), ale także gabarytów urządzeń, parametrów rozruchowych – nie tylko w warunkach obciążeń nominalnych, ale i częściowych. Uzyskane wyniki analiz wnoszą znaczący wkład w możliwości planowania polityki rozwoju krajowego systemu elektroenergetycznego i zagadnień bezpieczeństwa dostaw energii.

W szczególności znaczącą jest analiza techniczno-ekonomiczna obiegu gazowo-gazowego w różnych wariantach konfiguracji, w tym integracji ze zbiornikiem sprężonego powietrza. Analizowane rozwiązanie magazynuje energię w obrębie bloku energetycznego, pozwalając operatorowi instalacji na ładowanie zbiornika podczas pracy bloku z optymalną mocą, w okresach niepełnego obciążenia (zapotrzebowania) ze strony systemu elektroenergetycznego. Eliminuje też konieczność przechodzenia do nieoptymalnych warunków pracy oraz/lub pobierania (zwykle – zakupu z zewnątrz) energii przeznaczonej do zmagazynowania. Umożliwia w ten sposób optymalną ekonomicznie strategię eksploatacji elektrowni – ciągłą generację energii z mocą nominalną, oraz oddawanie (sprzedawanie) zmagazynowanej energii w okresach najwyższego zapotrzebowania oraz jej wysokich cen wywołanych najwyższymi niedoborami w systemie energetycznym.

Ocena dorobku w formie publikacji naukowych

Podstawowymi miarami naukometrii jest cytowalność i indeks Hirscha. Istnieje kilka uznanych baz danych poświęconych zagadnieniu indeksu cytowań, różniących się sposobem wyboru analizowanych czasopism naukowych, definicją wskaźników opartych na liczbie cytowań i metodami ich obliczania. Baza danych Web of Science stosuje najbardziej rygorystyczny sposób obliczania wskaźników naukometrycznych, uwzględniając jedynie artykuły opublikowane w uznawanych przez platformę czasopismach.

Cytowania prac Habilitanta:

- 272 cytowania (239 bez autocytowań): 210 prac cytujących (197 bez autocytowań) 21 prac Autora (w/g World of Science Core Collection)
- 309 cytowań (w/g Scopus): 242 prace cytujące 32 prace Autora, FWCI=1.764
- 432 cytowania (w/g Google Scholar)

Istotną jest w szczególności wartość współczynnika '*Field-weighted Citation Impact*' wg Scopus (wskaźnika łącznej liczby cytowań w porównaniu do średniej cytowalności danej dziedziny tematycznej). Wartość FWCI=1.764 oznacza, że prace Autora są średnio o blisko 80% częściej cytowane niż średnia prac z tej dziedziny, natomiast poszczególne jego prace osiągają poziom 2.33–3.32 – czyli o 133–232% wyższy niż średnia. Odzwierciedla to istotne znaczenie wkładu Habilitanta w rozwój konkretnej dziedziny naukowej.

Indeks Hirscha:

- h=9 (w/g World of Science)
- h=9 (w/g Scopus)
- h=10 (w/g Google Scholar).

Dorobek naukowo-badawczy i działalność organizacyjna

Na dorobek Habilitanta składają się przedstawione w autoreferacie:

- publikacje naukowe,
- wystąpienia na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych,
- osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne,

- współpraca z sektorem gospodarczym (w tym kierowanie projektami technologicznymi, wdrożeniami technologii), ekspertyzy (kierowanie zespołami eksperckimi),
- zgłoszenia patentowe (4 w trakcie procedowania),
- wdrożenia nowych rozwiązań technicznych,

działalność organizacyjna:

- aktywność w uzyskiwaniu środków finansowych na prowadzenie badań,
- kierowanie projektami,
- udział w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji,
- uczestnictwo w pracach zespołów badawczych realizujących projekty sfinansowane na drodze konkursów,
- współpraca z otoczeniem gospodarczym,

działalność dydaktyczna:

- prowadzenie w języku angielskim cyklu wykładów dla doktorantów PAN,

oraz inna aktywność naukowa:

- staże w instytucjach naukowych i naukowo-badawczych
 - Alstom Power GmbH Bergisch Gladbach (Niemcy)
 - Politechnika Opolska
- recenzje prac naukowych w czasopismach międzynarodowych i krajowych,
- udział w komitetach redakcyjnych (redaktor zaproszony wydania czasopisma naukowego Energies),
- członkostwo w Polskim Towarzystwie Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej.

Na podkreślenie zasługuje łączenie przez Habilitanta pracy naukowej z praktyką inżynierską i prowadzeniem prac aplikacyjnych dla przemysłu.

Ocena działalności naukowo-badawczej

W zakresie merytorycznym publikacje zebrane w cyklu habilitacyjnym stanowią efekt działalności naukowo-badawczej Habilitanta, dotyczącej problematyki integracji wchodzących w skład systemu elektroenergetycznego elektrowni konwencjonalnych, jądrowych oraz odnawialnych źródeł energii, z ogniwem pośrednim procesu magazynowania energii. W pracach uwzględniono aspekty charakterystyk technicznych i uwarunkowań ekonomicznych – dla nowatorskich rozwiązań magazynowania energii sprężonego powietrza, termicznej i chemicznej. Pod względem zakresu oraz sposobu analizy wyniki badań prezentowane w przedstawionym do oceny cyklu artykułów świadczą o dużej wiedzy i umiejętnościach naukowych Autora.

Istotny wkład dr inż. Tomasza Kowalczyka w realizacji badań prezentowanych w cyklu publikacji stanowiącego osiągnięcie naukowe przejawia się poprzez opracowanie koncepcji integracji źródeł energii z magazynami energii sprężonego powietrza, energii termicznej i chemicznej, opracowaniu koncepcji zasilania obiegu gazowo-gazowego wysokotemperaturowym reaktorem jądrowym HTR, budowie modeli termodynamicznych rozważanych obiegów, sformułowaniu metodyki prac

naukowych, przeprowadzeniu analiz energetycznych, analizę podstawowych wymiarów maszyn przepływowych, przeprowadzenie analiz parametrycznych obiegów przy obciążeniach częściowych, wreszcie opracowanie wniosków wynikających z analiz. Wkład ten jest poświadczony wysokimi notowaniami cytawalności artykułów, znacząco częściej cytowanych niż średnia prac z tej dziedziny.

Na podstawie analizy przedłożonej dokumentacji dotyczącej dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego stwierdzam, że przedstawione przez dr inż. Tomasza Kowalczyka osiągnięcie naukowe pt. „Zaawansowana integracja konwencjonalnych, jądrowych oraz odnawialnych źródeł energii z zastosowaniem magazynów energii sprężonego powietrza, termicznej i chemicznej” spełnia wymagania stawiane dla osiągnięcia naukowego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej czynniki, takie jak znaczący ilościowy i jakościowy udział Habilitanta w zaawansowanej integracji źródeł i magazynów energii systemu elektroenergetycznego, odpowiedni zakres i poziom prac naukowo-badawczych przedstawionych w osiągnięciu naukowym, zakres współpracy z otoczeniem gospodarczym, istotną aktywność organizacyjną – jako recenzent stwierdzam, że dr inż. Tomasz Kowalczyk spełnia wszystkie formalne i zwyczajowe warunki do otrzymania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Wniosek końcowy

Stwierdzam iż przedłożone osiągnięcie naukowe oraz działalność naukowa, również wykazany dorobek naukowo-badawczy i organizacyjny, spełniają w stopniu wystarczającym wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego zawarte w obowiązującej ustawie o stopniach i tytule naukowym.

Wnioskuje tym samym o nadanie dr inż. Tomaszowi Kowalczykowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

M. Rabiński