

Kraków, 23.05.2024 r.

Dr hab. inż. Piotr Dzierwa, prof. PK
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

RECENZJA

dorobku naukowego oraz istotnej aktywności naukowej

dr inż. Marcina Pawła Wołowicza

w związku z wszczętym postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego

1. PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA RECENZJI

Zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej z dnia 12 marca 2024r. w sprawie powołania komisji habilitacyjnej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Pana dr inż. Marcina Pawła Wołowicza oraz powierzeniu mi funkcji recenzenta, przedstawiam ocenę osiągnięć naukowych dr inż. Marcina Pawła Wołowicza, wraz z elementami aktywności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej Habilitana. Podstawą dla wykonania niniejszej opinii jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego, nr RND.IŚGiE.38.2024 z dnia 15 marca 2024r.. Wraz z wyżej wymienionym dokumentem otrzymałem kopię dokumentacji w wersji papierowej i elektronicznej przewodu obejmującą wniosek Habilitanta z dnia 28 września 2023r. wraz z załącznikami:

Załącznik 2. Dane wnioskodawcy w języku polskim (Dane wnioskodawcy M. Wołowicz.pdf);

Załącznik 3. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora w języku polskim (Dyplom Dr Wołowicz.pdf);

Załącznik 3. Autoreferat w języku polskim (Autoreferat M. Wołowicz.pdf);

Załącznik 4. Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny w języku polskim (Wykaz osiągnięć M. Wołowicz.pdf);

Załącznik 5. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

- Publikacja 1- Exergy Analysis of Adiabatic Liquid Air Energy Storage (A-LAES) System Based on Linde–Hampson Cycle (A1.pdf);
- Publikacja 2 - Transcritical carbon dioxide cycle as a way to improve the efficiency of a Liquid Air Energy Storage system (A2.pdf);
- Publikacja 3 - Comparison of advanced air liquefaction systems in Liquid Air Energy Storage (A3.pdf);
- Publikacja 4 - Comparison of SOE/SOFC system configurations for a peak hydrogen power plant (A4.pdf);
- Publikacja 5 - Energy Savings Analysis for Operation of Steam Cushion System for Sensible Thermal Energy Storages (A5.pdf);
- Publikacja 6 - Energy and Exergy Analysis of Sensible Thermal Energy Storage— Hot Water Tank for a Large CHP Plant in Poland (A6.pdf);
- Publikacja 7 - Analysis of nodalization effects on the prediction error of generalized finite element method used for dynamic modeling of hot water storage tank (A7.pdf);
- Publikacja 8 - Methodology for choosing the optimum architecture of a STES system (A8.pdf);
- Publikacja 9 - Wykorzystanie kawernowych magazynów gazu ziemnego jako wysokopojemnościowych magazynów energii elektrycznej (A9.pdf);
- Publikacja 10 - Metody magazynowania energii elektrycznej z wykorzystaniem technologii gazowych (A10.pdf);
- Publikacja 11 - Analiza założeń konstrukcyjnych sezonowego zasobnika energii słonecznej (A11.pdf);
- Publikacja 12 – Seasonal Thermal Energy Storage – a Size Selection (A12.pdf);
- Publikacja 13 – Magazynowanie wodoru, ogniwa paliwowe (A13.pdf);
- Publikacja 14 - Mathematical Model and Simulation of a New Concept of the Bus Powering – Liquid Air Bus (Labus) (A14.pdf);
- Publikacja 15 - Improving the efficiency of Liquid Air Energy Storage by Organic Rankine Cycle module application (A15.pdf);
- Publikacja 16 - Impact of selected parameters on the performance of adiabatic liquid

air energy storage with steam module (A16.pdf);

- Publikacja 17 - Technical and economic analysis of adiabatic liquid air energy storage with nitrogen and oxygen separation (LAES ONS) (A17.pdf);
- Publikacja 18 - Impact of selected parameters on the performance of compressed natural gas energy storage using cavern gas storage system (A18.pdf);
- Publikacja 19 - Mathematical Model of Compressed Air Energy Storage Expansion Part with Flue Gas Recovery (A19.pdf);
- Publikacja 20 - Methodology for choosing the optimum configuration of stes system (A20.pdf);

Załącznik 6. Oświadczenia o współautorstwie (Oświadczenia o współautorstwie.PDF).

- Publikacja 7 – brak podpisu K. Wawryniuk – udział potwierdzonych przez Dyrektora Instytutu Energetyki dr hab. inż. Jakuba Kupeckiego, prof. IEn
- Publikacja 19 – brak podpisu R. Kakumanu

Załączniki w wersji elektronicznej zostały podpisane podpisem zaufanym przez Wnioskodawcę.

Habilitant wyspecyfikował do oceny jako osiągnięcie naukowe (art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1668)) cykl publikacji składający się na osiągnięcie pt. „Badania, analiza i modelowanie wybranych technologii magazynowania energii elektrycznej i ciepła”. Podstawą prawną oceny dorobku naukowego Habilitanta jest art. 219 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r., poz. 85 z późn. zm.)

Art. 219 ust. 1 stanowi:

„Stopień doktora habilitowanego nadaje się osobie, która:

- posiada stopień doktora;
- posiada w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej:
 - monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a, lub
 - cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowym lub w recenzowanych materiałach z konferencji

międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, lub

- zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne;
- wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Zgodnie z tymi zapisami, w świetle przytoczonych przepisów ustawy, w niniejszej recenzji ocenione zostanie osiągnięcie naukowe Habilitanta, oraz sporządzona zostanie opinia czy pozostały dorobek naukowy spełnia warunek „istotnej aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej”.

2. SYLWETKA HABILITANTA

Pan Marcin Paweł Wołowicz urodził się 28 listopada 1982 r. w Warszawie. Studia magisterskie na Wydziale Mechanicznym „Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej ukończył w 2009 roku. W 2013 roku obronił, z wyróżnieniem, dysertację pt. „Modelowanie matematyczne węglanowego ogniwa paliwowego”, uzyskując stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie energetyka. Promotorem rozprawy doktorskiej był prof. dr hab. inż. Krzysztof Badyda a recenzentami prof. dr hab. inż. Janusz Kotowicz oraz prof. dr hab. inż. Andrzej Miller. Od roku 2010 habilitant jest pracownikiem Politechnik Warszawskiej:

- od 01.10.2010 do 31.03.2014 – na stanowisku Samodzielnego Referenta ds. Technicznych na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa w Instytucie Techniki Ciepłej
- od 01.04.2014 do 30.09.2021 – na stanowisku Adiunkta naukowo-dydaktycznego na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa w Instytucie Techniki Ciepłej - Zakład Maszyn i Urządzeń Energetycznych
- od 01.10.2021 – na stanowisku Adiunkta naukowo-dydaktycznego na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa w Instytucie Techniki Ciepłej - Zakład Racjonalnego Użytkowania Energii.

3. OCENA CYKLU PUBLIKACJI STANOWIĄCEGO OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE HABILITANTA

Pan dr inż. Marcin Wołowicz jako osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym przedstawił cykl publikacji pt.: „Badania, analiza i modelowanie wybranych technologii magazynowania energii elektrycznej i ciepła”. W skład przedstawionego cyklu wchodzi:

- 11 artykułów w których habilitant jest współautorem (Energies (3), Renewable Energy (2), International Journal of Hydrogen Energy (1), Archiwum Termodynamiki (1), Journal of Power Technologies (1), Rynek Energii (2), Applied Mechanics and Materials (1))
- 1 artykuł samodzielny (Rynek Energii).
- 1 rozdział w monografii w którym habilitant jest współautorem.
- 7 recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych w których habilitant jest współautorem.
- 4 patenty w których habilitant jest współautorem (jako uzupełnienie do cyklu)

Na cykl składają się następujące pozycje:

[A1] Szablowski, L., Krawczyk, P., **Wołowicz, M.**, Exergy analysis of adiabatic liquid air energy storage (A-LAES) system based on Linde–Hampson cycle, *Energies*, 2021, 14(4), 945, IF = 3,252 MEiN = 140 pkt.

W artykule przedstawiono analizę adiabatycznego systemu magazynowania energii w ciekłym powietrzu (A-LAES) opartego na cyklu Linde-Hampsona. Analizę egzergii przeprowadzono dla czterech przypadków o różnych parametrach, w szczególności dla ciśnienia wylotowego powietrza na wlocie turbiny (20, 40, 100, 150 barów). Wyniki analizy wykazały występowanie największych strat w parowniku powietrza i zaworze Joule'a-Thompsona. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na udziale w przygotowaniu koncepcji i planu badań, prowadzeniu badań, opracowaniu wyników, przygotowaniu manuskryptu (w tym jego finalnej wersji) oraz odpowiedzi na recenzje.

[A2] Dzido, A., **Wołowicz, M.**, Krawczyk, P., Transcritical carbon dioxide cycle as a way to improve the efficiency of a Liquid Air Energy Storage system, *Renewable Energy* (Elsevier), Volume 196, 2022, s. 1385-1391, IF = 8,634 MEiN = 140 pkt.

W artykule przedstawiono metodę zwiększenia wydajności LAES poprzez połączenie go z obiegiem na nadkrytyczny dwutlenku węgla. W tym celu w artykule przedstawiono analizę numeryczną dwóch systemów LAES Kapitza z nadkrytycznym cyklem CO₂: w trybie równoległym i szeregowym. W obu przypadkach maksymalizacja ciśnienia CO₂ przyczynia się do zwiększenia ogólnej sprawności układu. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na udziale w postawieniu tezy dotyczącej przedstawionego problemu, analizie stanu wiedzy, opracowaniu koncepcji pracy i badań, w przygotowaniu manuskryptu oraz w przygotowaniu odpowiedzi na recenzje.

[A3] Dzido, A., Krawczyk, P., **Wołowicz, M.**, Badyda, K., Comparison of advanced air liquefaction systems in Liquid Air Energy Storage applications, *Renewable Energy* (Elsevier), Volume 184, 2022, s. 727-739, IF = 8,634 MEiN = 140 pkt.

W artykule przeprowadzono wyniki analiz sześciu popularnych sekcji skraplania dla różnych poziomów ciśnień w sekcji regazyfikacji. W zależności od ciśnienia w sekcji regazyfikacji, różne ilości zimnych mediów mogą być uzyskiwane, przechowywane i wykorzystywane w trybie ładowania systemu magazynowania energii w ciekłym powietrzu. Wyniki modelowania matematycznego pokazują, że gdy ciśnienie w sekcji regazyfikacji wynosi poniżej 100 barów, rodzaj zastosowanego systemu skraplania nie ma znaczącego wpływu na jednostkowe wydatki energetyczne sekcji skraplania. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na udziale w opracowaniu analizy stanu wiedzy (literaturowej oraz patentowej) wraz z wytypowaniem obszarów do badań nie pokrytych do tej pory przez inne prace naukowe, przygotowaniu manuskryptu, w tym jego wstępnej oraz finalnej wersji, oraz w przygotowaniu odpowiedzi na recenzje.

[A4] Milewski, J., **Wołowicz, M.**, Lewandowski, J., Comparison of SOE/SOFC system configurations for a peak hydrogen power plant; *International Journal of Hydrogen Energy* (Elsevier), 2017, 42(5), s. 3498–3509, IF = 7,139 MEiN = 140 pkt.

W artykule przedstawiono wariantową analizę magazynowania energii w wodorze w układzie składającym się z elektrolizera SOE oraz ogniwa paliwowego SOFC. Przedstawione wyniki analiz wykazały, że najbardziej racjonalnym zastosowaniem układów

w konfiguracjach z SOE/SOFC są małe i średnie elektrownie. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na współdziałaniu w wykonywaniu modeli matematycznych oraz prowadzeniu badań numerycznych różnych konfiguracji układu szczytowo-wodorowego do magazynowania energii, uczestnictwie w wytypowaniu wariantów do analiz, analizie wyników będących rezultatem przeprowadzonych badań, przygotowywaniu treści publikacji oraz w przygotowaniu odpowiedzi na recenzje.

[A5] Zwierzchowski, R., Niemyjski, O., **Wołowicz, M.**, Energy Savings Analysis for Operation of Steam Cushion System for Sensible Thermal Energy Storages, *Energies*, 2022, 15(1), 286, IF = 3,252 MEiN = 140 pkt.

W artykule przedstawiono dyskusję na temat sposobu poprawy efektywności energetycznej pracy układu poduszki parowej dla zbiornika termicznego magazynowania energii (TES). Przedstawione w artykule analizy energooszczędnej pracy systemów poduszki parowej zostały przeprowadzone z wykorzystaniem danych operacyjnych otrzymanych z trzech systemów ciepłowniczych eksploatowanych w kraju. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na udziale w prowadzeniu obliczeń i analiz dotyczących zwiększenia sprawności magazynowania ciepła w akumulatorze ciepła dzięki zastosowaniu poduszki parowej, udziale w przygotowaniu manuskryptu, w tym jego finalnej wersji oraz odpowiedzi na recenzje.

[A6] Zwierzchowski, R., **Wołowicz, M.**, Energy and exergy analysis of sensible thermal energy storage—Hot water tank for a large CHP plant in Poland; *Energies*, 2020, 13(18), 4842, IF = 3,252 MEiN = 140 pkt.

Artykuł zawiera uproszczoną analizę energetyczną i egzergetyczną układu hydraulicznego zintegrowanego z termicznym magazynowaniem energii (TES). Analizę przeprowadzono dla danych rzeczywistych z Elektrociepłowni Siekierki w Warszawie. Oszacowano efektywność energetyczną i egzergetyczną dla części blokowej dla trzech różnych wartości temperatury otoczenia. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na udziale w zaplanowaniu koncepcji badań, prowadzeniu badań i obliczeniach dotyczących analizy energetycznej i egzergetycznej akumulatora ciepła jako elementu bloku energetycznego, uczestnictwie w opracowaniu wyników oraz przygotowaniu manuskryptu oraz udział w przygotowaniu odpowiedzi na recenzje.

[A7] **Wołowicz, M.**, Kupecki, J., Wawryniuk, K., Milewski, J., Motyliński, K., Analysis of nodalization effects on the prediction error of generalized finite element method used for dynamic modeling of hot water storage tank; Archives of Thermodynamics (PAN), 2015, 36(3), pp. 123–138, MEiN = 70 pkt.

W artykule przedstawiono wyniki analiz modelowania zasobnika ciepłej wody użytkowej. Model uwzględnia jedenaście różnych parametrów, takich jak: objętościowe natężenie przepływu spalin, temperaturę wody na wlocie, natężenie przepływu wody na wylocie itp. Model kotła opisany został przez parametry geometryczne, parametry dyszy i straty ciepła, w tym temperaturę otoczenia. Model został zweryfikowany na podstawie danych uzyskanych z eksperymentów laboratoryjnych. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na wykonywaniu obliczeń numerycznych (symulacji procesów dynamicznych) zasobnika do magazynowania ciepła, analizie różnych wariantów podziału zasobnika na strefy, współudziale w analizie wyników będących rezultatem przeprowadzonych badań wraz z porównaniem ich z danymi eksperymentalnym, współudziale w przygotowywaniu treści artykułu, oraz uczestnictwie w przygotowaniu odpowiedzi na recenzje.

[A8] Milewski J., **Wołowicz M.**, Bujalski W., Methodology for choosing the optimum architecture of a STES system, Journal of Power Technologies, 2014, vol. 94, nr 3, s.153-164, MEiN = 40 pkt.

W artykule przedstawiono metodologię doboru parametrów geometrycznych sezonowego magazynu energii cieplnej (STES) i jej wpływ na osiąganą pojemność cieplną. Magazyn został zabudowany w gruncie i został podłączony do kolektorów słonecznych. Zbadano szereg scenariuszy w celu znalezienia odpowiednich wymiarów geometrycznych STES (dla stałego rozmiaru zbiornika i powierzchni panelu słonecznego). Uzyskane wyniki pokazują, że zastosowanie różnych geometrii STES może zmniejszyć akumulację ciepła do 30% w zależności od wybranego rozwiązania. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na wykonaniu analizy stanu wiedzy odnośnie funkcjonowania i badań dot. sezonowych zasobników ciepła (w tym analizie literaturowej oraz patentowej), prowadzeniu obliczeń numerycznych (symulacji procesów dynamicznych) zasobnika do sezonowego magazynowania ciepła dla różnych geometrii (m.in. stosunku wysokości do średnicy), współudziale w analizie wyników będących rezultatem przeprowadzonych badań oraz współudziale w przygotowywaniu treści artykułu.

[A9] **Wołowicz, M.**, Krawczyk, P., Gruszecka, M., Mikołajczak, A., Wykorzystanie kawernowych magazynów gazu ziemnego jako wysokopojemnościowych magazynów energii elektrycznej; Rynek Energii, 2017, 5(132), MEiN = 70 pkt.

Artykuł dotyczy wykorzystania kawern solnych w roli magazynów energii. Technologia opisana w artykule oparta jest na wykorzystaniu turboekspandera do generowania energii elektrycznej podczas przepomowywania gazu ziemnego z kawerny o ciśnieniu wyższym do kawerny o ciśnieniu niższym. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na współudziale w opracowaniu koncepcji wykorzystania kawernowych magazynów gazu ziemnego jako magazynów energii elektrycznej, określeniu uwarunkowań funkcjonowania takich magazynów, wytypowaniu niezbędnych modernizacji w celu nadbudowy magazynu gazu członem do magazynowania energii elektrycznej, oraz na przygotowaniu manuskryptu, w tym jego finalnej wersji.

[A10] **Wołowicz M.**, Metody magazynowania energii elektrycznej z wykorzystaniem technologii gazowych; Rynek Energii, 2023, vol. 2 (165), s. 45-52 MEiN = 70 pkt.

Artykuł ma charakter opisowy. Zaprezentowano w nim przegląd technologii magazynowania energii w wykorzystaniem powietrza, wodoru oraz gazu ziemnego.

[A11] Milewski J., **Wołowicz M.**, Bujalski W., Analiza założeń konstrukcyjnych sezonowego zasobnika energii słonecznej, Rynek Energii, 2013, vol. 5, s. 91-99, MEiN = 70 pkt.

W artykule przedstawiono wyniki analiz dotyczących funkcjonowania sezonowego zasobnika energii cieplnej do pokrycia zapotrzebowania na ciepło kompleksu budynków połączonych wspólną siecią ciepłowniczą. Magazyn został zabudowany w gruncie i został podłączony do kolektorów słonecznych. Przeprowadzone analizy dotyczyły kilku wariantów konstrukcyjnych pozwalających na zaspokojenie od 22 do 100% zapotrzebowania na ciepło. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na udziale w wykonaniu wariantowej analizy doboru parametrów konstrukcyjnych funkcjonowania sezonowych zasobników ciepła w zależności od zapotrzebowania na ciepło oraz jego produkcji przez kolektory słoneczne, współudziale w opracowaniu wyników będących rezultatem przeprowadzonych analiz, współudziale w przygotowywaniu manuskryptu oraz w przygotowaniu odpowiedzi na recenzje.

[A12] Milewski, J., **Wołowicz, M.**, Bujalski, W.; Seasonal thermal energy storage - A size selection; Applied Mechanics and Materials, 2014, 467, pp. 270–276, na rok publikacji artykułu czasopismo było na liście MNiSzW w kategorii „B” oraz posiadało 7 pkt.

Artykuł jest rozwinięciem badań przedstawionych w A11. Główny nacisk położony został na przeanalizowanie wpływu pojemności magazynu oraz powierzchni kolektorów słonecznych na koszty instalacji. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na udziale w wykonaniu wariantowej analizy doboru parametrów konstrukcyjnych funkcjonowania sezonowych zasobników ciepła w zależności od zapotrzebowania na ciepło oraz jego produkcji przez kolektory słoneczne, współudziale w opracowaniu wyników będących rezultatem przeprowadzonych analiz, współudziale w przygotowywaniu manuskryptu, oraz uczestniczeniu w przygotowaniu odpowiedzi na recenzje.

[A13] Bujalski W., **Wołowicz M.**, Magazynowanie wodoru, ogniwa paliwowe; W: Energetyka odnawialna w budownictwie. Magazynowanie energii / Chwieduk Dorota, Jaworski Maciej (red.), 2018, Wydawnictwo Naukowe PWN, s.391-406, ISBN 9788301200466

W pracy opisano metody magazynowania energii w wodorze. Opisana została instalacja kogeneracyjna, oparta na ogniwie paliwowym, służąca do zasilania energią elektryczną i ciepłą kompleksu hotelowego. Wkład Habilitanta w powstanie rozdziału w monografii polegał na udziale w przygotowaniu rozdziału dotyczącego magazynowania wodoru i ogniw paliwowych, wykonaniu opisu technologii zastosowania ogniw paliwowych do zasilania budynku w ciepło i energię elektryczną bazując na własnych badaniach oraz wynikach projektu, w których Habilitant brał udział (Development of a Novel Compact Multi Fuel Steam Reforming Device Integrated into a Cost Effective Fuel Cell Micro Combined Heat & Power Generation System for Residential Building Application). Brał również udział w przygotowaniu opisu dotyczącego magazynowania wodoru oraz finalnej wersji rozdziału w monografii.

[A14] Krawczyk, P., Mikołajczak, A., **Wołowicz, M.**, Badyda, K., Gruszecka, M.; Mathematical model and simulation of a new concept of the bus powering - Liquid air bus (labus); AIP Conference Proceedings, 2018, 1978, 470083,

Artykuł opisuje technologię zasilania autobusów miejskich przy użyciu ciekłego powietrza. W pracy zaprezentowano wyniki obliczeń modelu autobusu uzyskane przy pomocy

oprogramowania Aspen Hysys. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na współdziałaniu w opracowaniu koncepcji zastosowania skroplonego powietrza do napędu autobusu oraz określeniu gospodarki powietrzem (w tym ciepłem i chłodem) celem tankowania (ładowania) i użytkowania (rozładowania) autobusu, oraz na współdziałaniu w przygotowaniu manuskryptu.

[A15] Mikołajczak, A., **Wołowicz, M.**, Kurkus-Gruszecka, M., Badyda, K., Krawczyk, P.; Improving the efficiency of Liquid Air Energy Storage by Organic Rankine Cycle module application; 2018 International Interdisciplinary PhD Workshop, IIPhDW 2018, 2018, pp. 99–102

W artykule opisano technologię magazynowania energii w ciekłym powietrzu (LAES). Najważniejszą kwestią poruszoną w pracy jest zwiększenie wydajności magazynowania energii i jego atrakcyjności ekonomicznej. W tym celu zaproponowano zastosowanie układu z organicznym cyklem Rankine'a. Opracowano nowy wariant magazynowania energii w ciekłym powietrzu z ORC, w tym analizę techniczną, opis implementacji modelu matematycznego, wyniki symulacji i ich analizę. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na współdziałaniu w opracowaniu koncepcji zastosowania układu ORC (Organic Rankine Cycle) do podnoszenia sprawności układu magazynowania LAES, w tym analizy możliwości podłączenia i lokalizacji układu ORC w układzie cieplnym magazynu LAES (wytyczne do sprzęgnięcia dwóch układów celem przeprowadzenia obliczeń), oraz na współdziałaniu w przygotowaniu manuskryptu.

[A16] Krawczyk, P., Mikołajczak, A., Gruszecka, M., **Wołowicz, M.**, Badyda, K.; Impact of selected parameters on the performance of adiabatic liquid air energy storage with steam module; ECOS 2018 - Proceedings of the 31st International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, June 17th to 21st 2018 - Guimarães / Teixeira Jose Carlos (red.), 2018, University of Minho, s.1-7, ISBN 978-972995964-6

W artykule autorzy opisują sposób zwiększenia efektywności LAES poprzez zastosowanie modułu parowego. Artykuł obejmuje analizę techniczną pomysłu wraz z opisem implementacji modelu, wynikami symulacji i ich analizą. Przedstawiono wpływ wybranych parametrów na wydajność adiabatycznego magazynu energii ciekłego powietrza z modułem parowym. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na współdziałaniu w opracowaniu

koncepcji zastosowania modułu parowego do podnoszenia sprawności układu magazynowania LAES, w tym analizy możliwości podłączenia modułu parowego do układu cieplnego magazynu LAES (wytyczne do sprzęgnięcia dwóch układów), oraz na współdziałanie w przygotowaniu manuskryptu.

[A17] Krawczyk, P., **Wołowicz, M.**, Mikołajczak, A., Badyda, K.; Technical and economic analysis of adiabatic liquid air energy storage with nitrogen and oxygen separation (LAES-ONS); 30th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Proceedings of a meeting held 2-6 July 2017, San Diego ECOS 2017, 2017

Artykuł dotyczy analizy technicznej i ekonomicznej instalacji magazynowania energii w ciekłym powietrzu. Opisany system pozwala na magazynowanie energii i wytwarzanie ciekłego tlenu i azotu, co czyni go bardziej atrakcyjnym ekonomicznie. Artykuł szczegółowo opisuje budowę instalacji oraz zawiera wyniki symulacji. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na współdziałaniu w opracowaniu koncepcji zastosowania separacji azotu i tlenu dla układu magazynowania LAES, w tym analizy konfiguracji układu cieplnego magazynu LAES przystosowanego do takiej pracy, oraz na współdziałaniu w przygotowaniu manuskryptu.

[A18] Krawczyk, P., Mikołajczak, A., **Wołowicz, M.**, Badyda, K., Gruszecka, M.; Impact of selected parameters on the performance of compressed natural gas energy storage using cavern gas storage system; American Institute of Physics AIP Conference Proceedings, 2018, Volume 1978, paper number 470079

W artykule opisano wykorzystanie kawernowego magazynu gazu. Sposób magazynowania polega na przepompowywaniu gazu pomiędzy kawernami o różnym ciśnieniu przy pomocy sprężarek elektrycznych. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na współdziałaniu w opracowaniu koncepcji wykorzystania kawernowych magazynów gazu ziemnego jako magazynów energii elektrycznej oraz określeniu uwarunkowań funkcjonowania takich magazynów, na udziale w określeniu parametrów brzegowych celem prowadzenia obliczeń, udziale w opracowaniu wyników, oraz na współdziałaniu w przygotowaniu manuskryptu.

[A19] **Wołowicz, M.**, Kakumanu, R.; Mathematical model of compressed air energy storage expansion part with flue gas recovery; American Institute of Physics AIP Conference Proceedings, 2019, Volume 2116, paper number 450083

Artykuł dotyczy analizy magazynu CAES z odzyskiem ciepła ze spalin. Do wykonania modelu posłużył program GateCycle. Weryfikacji poprawności obliczeń dokonano dla danych z istniejącej instalacji CAES. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na opracowaniu koncepcji nadbudowy części napowierzchniowej magazynu energii w sprężonym powietrzu poprzez moduł parowy, nadzorowaniu obliczeń, budowie modelu i jego implementacji w środowisku numerycznym GateCycle, przygotowaniu finalnej wersji manuskryptu oraz odpowiedzi na recenzje.

[A20] Milewski, J., **Wołowicz, M.**, Bujalski, W.; Methodology for choosing the optimum configuration of STES system; OPT-i 2014 - 1st International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization, Proceedings, 2014, pp. 222–239

W artykule zaprezentowana została metodologia doboru parametrów geometrycznych sezonowych magazynów ciepła. Przedstawione zostały analizy dla wielu scenariuszy instalacji magazynów zakopywanych w gruncie i podłączonych z instalacjami paneli słonecznych. Wykazany został bardzo duży wpływ rozwiązania architektonicznego zbiornika na skuteczność magazynowania energii cieplnej. Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na udziale w wykonaniu wariantowej analizy doboru parametrów konstrukcyjnych funkcjonowania sezonowych zasobników ciepła w zależności od zapotrzebowania na ciepło oraz jego produkcji przez kolektory słoneczne, współdziałał w opracowaniu wyników będących rezultatem przeprowadzonych analiz oraz współdziałał w przygotowywaniu manuskryptu.

Patenty uzupełniające do cyklu publikacji dot. magazynowania energii

[PAT1] Instalacja do magazynowania energii w skroplonym powietrzu i odzysku energii z modułem parowym; Krawczyk Piotr, Mikołajczak Aleksandra Maria, **Wołowicz Marcin**, Kurkus-Gruszecka Michalina Karolina, Badyda Krzysztof; Numer patentu/prawa: PL 236372, Data udzielenia prawa: 24-08-2020, Publikacja patentu/wzoru: [WUP 11-01-2021]

[PAT2] Instalacja do magazynowania energii w skroplonym powietrzu i odzysku energii z obiegiem parowym; Krawczyk Piotr, Mikołajczak Aleksandra Maria, **Wołowicz Marcin**, Kurkus-Gruszecka, Michalina Karolina, Badyda Krzysztof; Numer patentu/prawa: PL 236371, Data udzielenia prawa: 24-08-2020, Publikacja patentu/wzoru: [WUP 11-01-2021]

[PAT3] Układ zasilania autobusu skroplonym powietrzem; Krawczyk Piotr, **Wołowicz Marcin**, Mikołajczak Aleksandra Maria, Badyda Krzysztof; Numer patentu/prawa: PL 235446, Data udzielenia prawa: 13-03-2020, Publikacja patentu/wzoru: [WUP 10-08-2020]

[PAT4] Instalacja do magazynowania energii w skroplonym powietrzu z modułem separacji tlenu; **Wołowicz Marcin**, Mikołajczak Aleksandra Maria, Badyda Krzysztof, Krawczyk Piotr; Numer patentu/prawa: PL 233789, Data udzielenia prawa: 02-08-2019, Publikacja patentu/wzoru: [WUP 29-11-2019]

Zbiór publikacji, przedstawione jako „osiągnięcie naukowe”, należy do dziedziny nauk inżynierjno-technicznych a w szczególności do obszaru dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Jedna publikacja jest wyłącznie autorstwa Habilitanta, a w pozostałych udział dr Marcina Wołowicza, według dołączonych oświadczeń, jest znaczny. Łączna liczba punktów MNiSW za publikacje wchodzące w skład ocenianego „osiągnięcia” wynosi 1160 +1 artykuł w czasopiśmie za które na rok opublikowania było na liście B oraz posiadało 7 pkt. Sumaryczny Impact Factor (IF) publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego wynosi 34,163. *Trzy artykuły zostały wydane w czasopismach Open Access.*

Przedłożony zbiór publikacji został opatrzony tytułem „Badania, analiza i modelowanie wybranych technologii magazynowania energii elektrycznej i ciepła” wskazującym na jego jednotematyczność. Prace łączą zagadnienia z jednego obszaru, a głównym celem opisanych badań jest opisanie różnych sposobów magazynowania energii w szczególności energii elektrycznej i cieplnej. Tematyka ta ma bardzo istotne znaczenie ze względu na zmiany zachodzące na rynku energii, związane szczególnie ze wzrostem udziału energii odnawialnej w miksie energetycznym. Tematyka ta wymaga szerokiego rozpoznania zarówno teoretycznego jak i praktycznego, począwszy od badań laboratoryjnych, aż do wdrożeń w większych skalach. Aktualność podjętej tematyki potwierdza również duża ilość publikacji naukowych z ostatnich lat.

W podsumowującym dorobek Autoreferacie, Habilitant wykazała że przedłożone prace stanowią jednotematyczny cykl publikacji. Spełniony został również warunek cyklicznego ukazywania się prac, dlatego w mojej ocenie przedłożony do oceny cykl spełnia warunek jednotematyczności. Ponadto należy zauważyć że przedstawiony do oceny zbiór tematyczny dotyczy dorobku niezwiązanego z rozprawą doktorską, do opracowania którego wykorzystany został poprawny warsztat badawczy, poprzedzony przeanalizowaniem

literatury przedmiotu, oraz wykorzystaniu własnych badań nad podjętym problemem badawczym.

Podsumowując osiągnięcia naukowe Habilitanta zawarte w przedłożonym do recenzji zestawie prac stwierdzam, że stanowią one znaczący wkład w dziedzinę nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka i mogą zostać uznane za osiągnięcie habilitacyjne.

4. OCENA AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ ALBO ARTYSTYCZNEJ REALIZOWANEJ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ LUB INSTYTUCJI KULTURY, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ

4.1 Ocena pozostałego dorobku publikacyjnego

Na dorobek Habilitanta przed doktoratem składa się 10 artykułów (wszystkie indeksowane w Web of Science oraz w Scopus). Według bazy Scopus prace te były cytowane 55 razy (stan na 20.05.2024r.). Habilitant jest współautorem 3 rozdziałów w monografiach naukowych. Po uzyskaniu stopnia doktora, poza pozycjami wchodzącymi w skład cyklu monotematycznego, habilitant był współautorem 31 artykułów (według danych z autoreferatu), według Scopus 36 artykułów (stan na 20.05.2024r.). Z informacji zawartej w Autoreferacie wynika, że według bazy Scopus prace Habilitanta były cytowane 272 razy, 281 razy wg. SCOPUS oraz 430 razy wg GOOGLE SCHOLAR. Na dzień 20.05.2024r. prace według Scopus cytowane były 311 razy. Indeks Hirscha dla publikacji naukowych Habilitanta wynosi 10 według Web of Science, 10 według Scopus, oraz 12 według Google Scholar. Sumaryczny wskaźnik Impact Factor wynosi $IF = 36,627$. Aktualne ogólne wskaźniki bibliometryczne dorobku naukowego (cytowania) dr inż. Marcina Wołowicza są wyższe niż te wskazane we wniosku. Suma osiągnięć naukowych składa się na dorobek znaczący. Dr inż. Marcin Wołowicz posiada wyróżniający się dorobek naukowy w obszarze dyscypliny naukowej „inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka”.

4.2. Ocena pozostałej aktywności

Habilitant wykazał w autoreferacie udział w wielu zagranicznych i międzynarodowych konferencjach naukowych – w tym w USA, Kanadzie, we Włoszech i

Korei Południowej. Wygłoszone referaty często ukazywały się w materiałach konferencyjnych, jako artykuły w czasopismach bądź też jako rozdziały w książkach lub monografiach. Habilitant był pięciokrotnie członkiem komitetu organizacyjnego konferencji Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej PBEC organizowanej co 2 lata przez Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej, oraz sześciokrotnie kongresów energetycznych PowerPol i PowerPol Heat w latach 2009 – 2014.

Habilitant uczestniczył w realizacji 22 projektów (16 po uzyskaniu stopnia doktora) w których pięciokrotnie pełnił funkcję kierownika projektu. Obecnie uczestniczy w realizacji dwóch projektów (w jednym pełni funkcję kierownika B+R).

W roku 2014 Pan dr inż. Marcin Wołowicz odbył dwumiesięczny staż w Korei na uniwersytecie Hanbat National University.

Ponadto Habilitant wykazał we wniosku:

- członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych 6 czasopism,
- wykonanie 33 recenzji artykułów naukowych (większość dla uznanych czasopism z wysokim IF),
- uczestnictwo w 2 programach europejskich, Eistein oraz H2ome- w roli wykonawcy .

Jako współpracę z sektorem gospodarczym Habilitant wykazał współpracę z 12 podmiotami gospodarczymi. Wykazał również:

- uzyskanie 7 patentów krajowych,
- udział we wdrożeniu 2 technologii przemysłowych,
- udział w wykonaniu 8 ekspertyz na zlecenie przemysłu,
- oraz udział w 2 zespołach eksperckich i konkursowych.

Podsumowując moją ocenę w odniesieniu do osiągnięć Habilitanta w zakresie aktywności naukowej albo artystycznej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej, stwierdzam że przedstawione osiągnięcia spełniają powyższe kryterium w sposób jednoznaczny.

5. OPINIA KOŃCOWA

Po zapoznaniu się z przedstawionym mi wnioskiem przewodu habilitacyjnego Pana **dr inż. Marcina Pawła Wołowicza**, stwierdzam, że:

- dorobek naukowo-badawczy, ze szczególnym uwzględnieniem cyklu publikacji składających się na przedstawione do oceny osiągnięcie,
- jak również aktywność naukowa albo artystyczna realizowana w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

spełniają wymagania stawiane doktorom habilitowanym przez obowiązującą ustawę (Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce).

Biorąc powyższe pod uwagę, uważam wniosek o nadanie dr inż. Marcinowi Pawłowi Wołowiczowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka* za zasadny.

Piotr Dzierwa