

XVI KONFERENCJA  
MŁODZI  
W ENERGETYCE



PUBLIKACJE  
KONFERENCYJNE



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

# ORGANIZATORZY I PARTNERZY



**Wydział Mechaniczno-Energetyczny – Główny Organizator**  
Politechnika Wroclawska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław



**Samorząd Studencki Wydziału Mechaniczno-Energetycznego  
Politechniki Wroclawskiej**

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław



**Koło Naukowe PWr Solar Boat Team**

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

## KOMITET NAUKOWY

dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz, prof. uczelni – Przewodniczący  
prof. dr hab. inż. Henryk Kudela – Honorowy Członek Komitetu Naukowego  
prof. dr hab. inż. Arkadiusz Wójs – Honorowy Członek Komitetu Naukowego  
dr hab. inż. Piotr Szulc, prof. uczelni – Honorowy Członek Komitetu Naukowego

dr inż. Konrad Babul	prof. dr hab. inż. Piotr Kolasiński
dr inż. Przemysław Błasiak	dr inż. Artur Machalski
dr inż. Dominik Błoński	dr inż. Andrzej Nowak
dr inż. Maciej Cholewiński	dr inż. Michał Ostrycharczyk
dr inż. Jean-Marc Fąfara	dr inż. Józef Rak
dr inż. Tomasz Halon	dr inż. Przemysław Szulc

## KOMITET ORGANIZACYJNY

dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz, prof. uczelni – Przewodniczący

Oskar Budyński  
dr inż. Maciej Cholewiński  
dr inż. Jean-Marc Fąfara  
mgr inż. Andrzej Frodyma  
Amelia Kierepka  
Aleksandra Kołodziej

Ivanna Kostuchenko  
mgr inż. Michał Lepszy  
dr inż. Artur Machalski  
Kamila Mizera  
Dominika Pęczek  
Adam Rasiński

inż. Anita Rygiel  
mgr inż. Dawid Sowa  
mgr inż. Marta Stempniak  
Dominika Stępień  
Paweł Świątkowski  
mgr Ewa Żuk



**Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego**



**Doskonała  
Nauka**

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa  
w ramach programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Doskonała Nauka”

(nr projektu DNK/SP/547820/2022, kwota dofinansowania 150 000,00 zł,  
całkowita wartość projektu 186 432,40 zł)

**XVI Konferencja  
„Młodzi w Energetyce”**

**PUBLIKACJE  
KONFERENCYJNE**

Praca zbiorowa pod redakcją  
Macieja Cholewińskiego, Anity Rygiel,  
Amelii Kierepki oraz Sławomira Pietrowicza



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej  
Wrocław 2024

Kolegium redakcyjne:  
Maciej Cholewiński, Anita Rygiel, Amelia Kierepka, Sławomir Pietrowicz

Opracowanie redakcyjne i korekta:  
Anita Rygiel, Stanisław Gancarz, Maciej Cholewiński

Złożono na podstawie dostarczonych materiałów

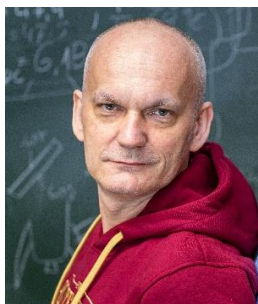
Publikacja elektroniczna dostępna na stronach www:  
Konferencji „Młodzi w Energetyce”  
<https://kme.pwr.edu.pl/>  
Oficyny Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej  
<http://www.oficyna.pwr.edu.pl/>  
Dolnośląskiej Biblioteki Cyfrowej  
<https://www.dbc.wroc.pl/>

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki, zarówno w całości jak i we fragmentach, nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny i inny bez zgody wydawcy i właścicieli praw autorskich.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2024

OFICYNA WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław  
<http://www.oficyna.pwr.edu.pl>, e-mail: [oficwyd@pwr.edu.pl](mailto:oficwyd@pwr.edu.pl)  
[zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl](mailto:zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl)

ISBN 978-83-7493-278-3  
<https://doi.org/10.37190/KME2024>



## OD ORGANIZATORÓW

Szanowni Państwo,

To kolejny, szesnasty już rok, w którym ukazuje się publikacja zawierająca streszczenia referatów wygłaszanych podczas Konferencji „Młodzi w Energetyce”.

Chciałbym podkreślić, że tegoroczne wydarzenie zostało przeprowadzone dzięki determinacji grupy osób – m.in. Pana dra inż. Macieja Cholewińskiego, mgr inż. Marty Stempniak, mgra inż. Michała Lepszego, dra inż. Jean-Marca Fąfary oraz studentów z Samorządu Studenckiego Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej, z Panią Amelią Kierepką na czele. Dziękuję Państwu za poświęcony czas.

W tym roku w naszej konferencji uczestniczy blisko 100 osób, zostanie wygłoszonych 30 referatów w języku polskim i 7 w języku angielskim. Podczas jej obrad wysłuchać będzie można ponadto 3 wykładów plenarnych, przygotowanych przez dra inż. Macieja Cholewińskiego, prof. Piotra Kolasińskiego oraz Pana mgra inż. Krzysztofa Wińskiego z firmy Symkom sp. z o.o. – ANSYS Select Channel Partner w Polsce, oraz zapoznać z ofertą kół naukowych Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej: Koła Naukowego PWr Solar Boat Team oraz Koła Naukowego Płomień.

Chciałbym także wspomnieć, że tak jak w zeszłym roku, konferencja jest dofinansowana ze środków budżetu Państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Doskonała Nauka” oraz dzięki wsparciu Dziekana Wydziału Mechaniczno-Energetycznego – prof. Piotra Szulca.

dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz, prof. uczelni  
Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego  
XVI Konferencji „Młodzi w Energetyce”



## OD ORGANIZATORÓW

Szanowni Państwo,

To już XVI edycja Konferencji „Młodzi w Energetyce” zorganizowana na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej przez grupę młodych doktorów i doktorantów. Jak co roku jest ona kierowana nie tylko do nich samych, ale również do studentów, członków kół naukowych oraz doświadczonych naukowców. Jest doskonałą okazją do przedstawienia przez jej uczestników swoich osiągnięć, podzielenia się własnymi doświadczeniami, a także jest okazją do dyskusji, zarówno w czasie samej konferencji, jak i w trakcie imprez towarzyszących. To zawsze wyjątkowe miejsce do nawiązania nowych znajomości i przyjaźni, stąd cieszy się ona dużym zainteresowaniem i uznaniem w środowisku młodych naukowców.

Tym razem Konferencja jest wydarzeniem szczególnym, ponieważ została zorganizowana w roku obchodów jubileuszu 70-lecia Wydziału Mechaniczno-Energetycznego. To 3 czerwca 1954, decyzją ministra został powołany Wydział Mechaniczno-Energetyczny jako samodzielna jednostka Politechniki Wrocławskiej. Było to możliwe dzięki inicjatywie profesorów z różnych polskich politechnik, w konsekwencji czego powstała na tyle silna jednostka, że do dzisiaj ma wpływ na kształt krajowej energetyki.

Przez ostatnie lata Konferencja „Młodzi w Energetyce” wpisała się w tradycję wydarzeń organizowanych na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym i stała się świetną jego promocją. Dlatego jestem przekonany, że również następne jej edycje będą cieszyły się uznaniem i powodzeniem, zarówno wśród stałych „bywalców”, jak i nowych uczestników.

dr hab. inż. Piotr Szulc, prof. uczelni

Dziekan Wydziału Mechaniczno-Energetycznego  
Politechniki Wrocławskiej

# SPIS TREŚCI

## REFERATY W JĘZYKU POLSKIM

<b>Perowskity na bazie tlenku manganu i żelaza do spalania paliw w chemicznej pętli tlenkowej</b> Aleksandra Bobowska, Rafał Łysowski, Ewelina Ksepko .....	11
<b>Definicje suz energetycznych i ich implikacje: studium przypadku farmy fotowoltaicznej na biegunie południowym</b> Michał Budzisz, Mikołaj Ostraszewski, Jakub Jurasz .....	13
<b>Poprawa sprawności pompy pracującej w trybie turbinowym poprzez modyfikację geometrii spirali</b> Anna Chernobrova, Oleksandr Moloshnyi, Artur Machalski .....	15
<b>Wstępne obliczenia systemu energetycznego opartego na odnawialnych źródłach energii i technologiach wodorowych dla wybranego aeroklubu</b> Maciej Cholewiński .....	19
<b>Modelowanie struktur dwufazowych podczas ruchu oscylacyjnego w kanałach o małej średnicy w warunkach mikrogravitacji przy wykorzystaniu komputerowej dynamiki płynów</b> Tomasz Duraziński, Andrzej Ireneusz Nowak, Sławomir Pietrowicz .....	23
<b>Koncepcja badań nowego układu rozrządu do czterosurowych silników spalinowych – rurowy wirujący układ rozrządu</b> Jean-Marc Fafara .....	27
<b>Badanie reaktywności wybranych stałych nośników tlenu z paliwem gazowym</b> Krzysztof Ferfecki, Rafał Łysowski, Ewelina Ksepko .....	31
<b>Technologie gospodarowania odpadami promieniotwórczymi pochodzącymi z elektrowni jądrowych na przykładzie rynku amerykańskiego</b> Sandra Jarmuła, Mateusz Lichoń .....	33
<b>Wrzenie objętościowe wody na pęczku rurek w warunkach podciśnienia</b> Dominika Kaczmarek, Tomasz Halon, Bartosz Zajączkowski .....	35

<b>Badania eksperymentalne profilu prędkości w kanale kwadratowym przy wykorzystaniu techniki PIV</b>	
Kamil Kowalski, Weronika Janowicz .....	39
<b>Rola klastrów energii w realizacji celów polityki klimatycznej</b>	
Kacper Kucner .....	41
<b>Ewolucja śmigieł w lotnictwie</b>	
Michał Lepszy .....	43
<b>Stałe nośniki tlenu o strukturze spinelu do zastosowania w procesie spalania biomasy</b>	
Rafał Łysowski, Ewelina Ksepko .....	45
<b>Systemy eksploatacyjne we współczesnych elektrowniach jądrowych</b>	
Adam Molczan, Magdalena Laskowska .....	47
<b>Badania pompy wirowej o niskim wyróżniku szybkoobrotowości ze szczeliną w łopatkach wirnika</b>	
Aneta Nycz, Janusz Skrzypacz, Przemysław Szulc .....	51
<b>Przystosowanie środowiska VR do potrzeb osób z dysfunkcją wzroku</b>	
Jagoda Piluch, Adrianna Kaim, Dariusz Rutkowski, Weronika Jachola-Łaski .....	55
<b>Magazynowanie energii z instalacji fotowoltaicznej a godzinowe ceny energii</b>	
Jakub Polański, Marcin Michalski .....	57
<b>Potencjał energetyczny Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej Morza Bałtyckiego</b>	
Adam Rasiński .....	59
<b>Zwiększenie sprawności ogniw fotowoltaicznych poprzez wykorzystanie nanocząstek srebra</b>	
Karol Rauch, Katarzyna Gwóźdź .....	63
<b>Wpływ zanieczyszczenia paneli fotowoltaicznych na zmianę parametrów pracy</b>	
Tomasz Rybak, Adam Molczan, Sandra Jarmuła, Mateusz Lichoń, Sara Majewska, Marcin Michalski .....	65
<b>Ogniwa słoneczne trzeciej generacji: kropki kwantowe i organiczne</b>	
Mikołaj Rygallo, Patryk Żymelka .....	69



<b>Projekt koncepcyjny napędu hybrydowego RBCC dla statku kosmicznego wielokrotnego użytku</b> Anita Rygiel .....	71
<b>Czujniki światłowodowe do pomiaru temperatury – od teorii do praktyki</b> Marta Stempniak, Gabriela Statkiewicz-Barabach, Cezary Czajkowski, Sławomir Pietrowicz, Mateusz Mądry .....	73
<b>Eksperymentalne badania alternatywnego systemu chłodzenia bydła</b> Anna Szczepanowska-Białek, Jagoda Błotny, Sabina Rosiek .....	77
<b>Analiza wpływu złoża wód geotermalnych Pyrzyce na wybrane elementy środowiskowo-społeczne</b> Karolina Szostak, Kamil Gromnicki, Justyna Górniak-Zimroz .....	79
<b>Zastosowanie mechanizmów detonacji w napędach lotniczych</b> Bartosz Warcaba .....	81
<b>Sztuka transferu ciepła: współczesne metody wspomaganie projektowania urządzeń i procesów</b> Krzysztof Wiński .....	85
<b>Technologie nuklearne w sektorze transportu wodnego</b> Daria Wolniak, Kacper Kasprzak .....	87
<b>Badania eksperymentalne wolnobieżnej pompy wirowej z wirnikiem otworowym</b> Filip Zaręba, Przemysław Szulc, Aneta Nycz .....	91
<b>Samochody elektryczne a redukcja emisji CO<sub>2</sub>: analiza cyklu życia pojazdu</b> Wiktoria Zarówna .....	95

## MANUSCRIPTS IN ENGLISH

<b>The application of machine learning algorithms for predicting compost quality</b> Andi Azizah, Arkadiusz Szydelko, Wojciech Moron .....	101
<b>Application of two-phase volumetric expanders in waste energy recovery systems</b> Szymon Lech, Piotr Kolasiński .....	103
<b>Modern photovoltaic technologies – perovskite and concentrating photovoltaics</b> Jakub Ogrodowczyk, Paweł Wyroślak .....	105

<b>Experimental analysis of prototype heat accumulator based on plate fin heat exchanger</b>	
Dawid Sowa, Szymon Lech, Sindu Daniarta, Piotr Kolasiński .....	107
<b>Size-controlled synthesis of two-dimensional perovskite single crystals for scintillation applications</b>	
Barbara Sznyrowska .....	109
<b>A proof of concept for using plasma gasification to produce syngas from biomass: Improving productivity and environmental sustainability</b>	
Vishwajeet, Komal Tripathi, Kamal Kishore Pant, Halina Pawlak-Kruczek, Tomasz Hardy, Aidan Mark Smith, Amit Arora .....	113

**REFERATY  
W JĘZYKU POLSKIM**



# PEROWSKITY NA BAZIE TLENKU MANGANU I ŻELAZA DO SPALANIA PALIW W CHEMICZNEJ PĘTLI TLENKOWEJ

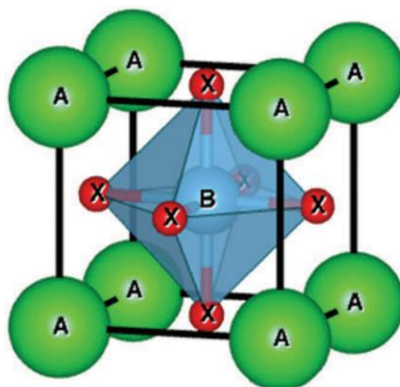
## MANGANESE-IRON OXIDE-BASED PEROVSKITES FOR CHEMICAL LOOPING COMBUSTION

Aleksandra Bobowska, Rafał Łysowski, Ewelina Ksepko

Katedra Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych, Wydział Chemiczny,  
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [258908@student.pwr.edu.pl](mailto:258908@student.pwr.edu.pl)

Perowskity (rys. 1) to szeroka klasa materiałów krystalicznych o ogólnym wzorze  $ABX_3$ , gdzie A i B są kationami, natomiast X jest anionem (najczęściej tlenkowym). Materiały te wykazują wiele istotnych właściwości, takich jak wysoki współczynnik adsorpcji, dalekozasięgowy ambipolarny transport ładunku, niska energia wiązania ekscytonów, wysoka stała dielektryczna czy właściwości ferroelektryczne. Niniejsze cechy powodują, że perowskity znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach inżynierskich takich jak kataliza, magazynowanie i konwersja energii czy inżynieria biomedyczna. Jedną z interesujących grup tych materiałów są perowskity na bazie żelaza oraz manganu, które mogą być stosowane jako nośniki tlenu ze względu na zdolność do uwalniania gazowego tlenu w odpowiedzi na zmiany ciśnienia parcjalego  $O_2$  w środowisku.



Rys. 1. Struktura perowskitu

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa  
w ramach programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa  
Wyższego pod nazwą "Doskonała Nauka"

(nr projektu DNK/SP/547820/2022, kwota dofinansowania  
150 000,00 zł, całkowita wartość projektu 186 432,40 zł)

Chemiczna pętla tlenkowa (CLC) to metoda polegająca na cyrkulacji nośnika tlenu pomiędzy reaktorem spalania a reaktorem utleniającym. Taki zabieg pozwala na uniknięcie bezpośredniego kontaktu spalanego paliwa z powietrzem, a tym samym ograniczenie emisji  $\text{NO}_x$ , osiągnięcie wysokiej sprawności energetycznej, wysoki stopień wychwytu skoncentrowanego  $\text{CO}_2$  oraz uzyskanie strumienia wodoru. Nośnik tlenu do CLC powinien wykazywać przede wszystkim wysoką odporność termiczną i mechaniczną, zdolność do cyklicznego transportu tlenu oraz reaktywność z paliwem.

W prezentowanym badaniu perowskity żelazowo-manganowe do zastosowań w chemicznej pętli tlenkowej otrzymano metodą syntezy w stanie stałym. Właściwości strukturalne zbadano z wykorzystaniem dyfraktometrii rentgenowskiej oraz skaningowej mikroskopii elektronowej. W celu określenia wytrzymałości mechanicznej syntezowanych materiałów frakcję 125–180  $\mu\text{m}$  badano przy użyciu dynamometru.

### Źródło finansowania

Praca została sfinansowana w ramach projektu NCN nr 2020/37/B/ST15/01259.

### Literatura

- [1] Gibin G. et al., *Fundamentals of Perovskite Oxides. Synthesis, Structure, Properties and Applications*, “CRC Press” 2021.
- [2] Ksepko E., *Otrzymywanie oraz charakterystyka właściwości fizykochemicznych związków typu  $\text{Sr}(\text{Mn}_{1-x}\text{Ni}_x)\text{O}_3$  w relacji ich wykorzystania jako nośników tlenu w chemicznej pętli tlenkowej*, “Karbo” 2009.

# DEFINICJE SUSZ ENERGETYCZNYCH I ICH IMPLIKACJE: STUDIUM PRZYPADKU FARMY FOTOWOLTAICZNEJ NA BIEGUNIE POŁUDNIOWYM

## DEFINITIONS OF RENEWABLE ENERGY DROUGHTS AND THEIR IMPLICATIONS: A CASE STUDY OF A PHOTOVOLTAIC FARM AT THE SOUTH POLE

Michał Budzisz<sup>1</sup>, Mikołaj Ostraszewski<sup>2</sup>, Jakub Jurasz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza,  
Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska

<sup>2</sup>Katedra Wodociągów i Kanalizacji, Wydział Inżynierii Środowiska,  
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: 252068@student.pwr.edu.pl

Zwiększony udział niedyspozycyjnych odnawialnych źródeł energii (nOZE), głównie turbin wiatrowych oraz paneli fotowoltaicznych, w światowym miksie energetycznym niesie ze sobą potrzebę analizy okresów o niskiej generacji z tych źródeł, aby móc odpowiednio przygotować na nie system elektroenergetyczny. W tym celu Raynauld D. i in. [1] jako pierwsi zdefiniowali pojęcie „suszy energetycznych odnawialnych źródeł energii” ( $\psi$ ), czyli okresów, gdy dostępność nOZE ( $\phi_t^{nOZE}$ ) spada, dla założonego kroku czasowego ( $\Delta t$ ), poniżej arbitralnie przyjętego progu ( $\tau$ ), opisywanych wzorem [2]:

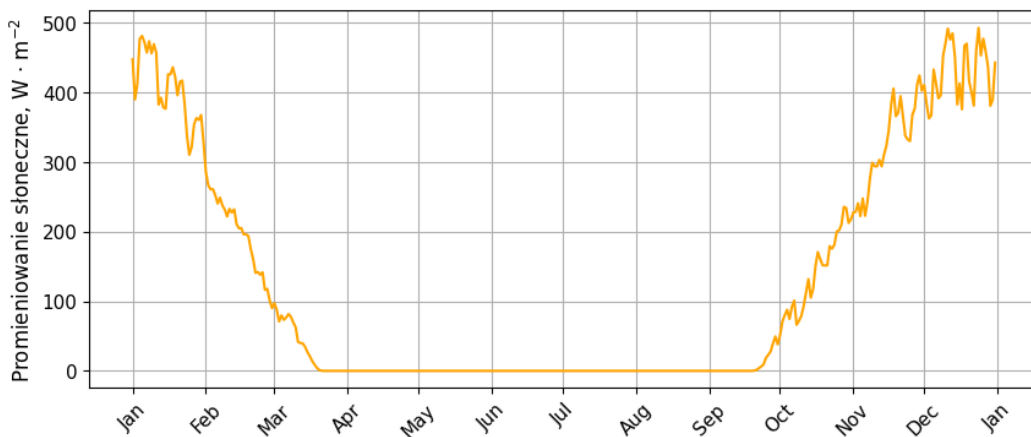
$$\psi_t = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli } \phi_t^{nOZE} < \tau \forall t \\ 0 & \text{jeżeli } \phi_t^{nOZE} \geq \tau \forall t \end{cases}$$

Jednakże w literaturze nie istnieje jedna spójna definicja wymienionego zjawiska, a zatem tego, w jaki sposób należałoby wyznaczać okresy niskiej generacji i idące za tym deficyty energii. Zaproponowane podejścia różnią się wysokością progu ( $\tau$ ), sposobem jego obliczania i wyborem wartości odniesienia. Ponadto nie ma także zgody co do tego, czy punkt odniesienia powinien być zmienny w czasie (zależny od sezonowego charakteru pracy źródła i przewidywanej dostępności energii w danym okresie) czy też stały (np. zależny od mocy zainstalowanej).

Celem referatu jest przedstawienie różnic między podejściami do obliczania susz energetycznych nOZE oraz jakie implikacje będą niosły za sobą przyjęte założenia. Aby lepiej zobrazować badany problem, posłużono się analizą na bazie eksperymentu myślowego. Przyjmując lokalizację paneli

fotowoltaicznych (PV) na Biegunie Południowym (korzystając ze współrzędnych stacji badawczej Amundsen-Scott) i danych godzinowych promieniowania słonecznego uzyskanych przy pomocy narzędzi do reanalizy pogodowej (ERA5 i MERRA-2) podzielono rok na półroczia: 1) dzień polarny, w którym odnotowany został poziom promieniowania słonecznego powyżej zera, 2) noc polarna, gdzie promieniowanie nie występuje, czego efektem jest brak generacji z PV (rys. 1).

Czy zatem farma fotowoltaiczna na biegunie podlega suszy energetycznej w trakcie nocy polarnej? Odpowiedzi na to pytanie zaprezentowano zgodnie z różnymi spotykanymi w literaturze definicjami. Ponadto w pracy pokazano obliczone długości suszy najbardziej reprezentatywnymi metodami dla serii danych pogodowych pozyskanych z reanalizy.



Rys. 1. Profil roczny średnich dobowych natężeń promieniowania słonecznego dla roku 2016 (wykonanie własne na podstawie danych z [3])

### Źródło finansowania

Publikacja powstała w ramach projektu naukowego nr 2022/47/B/ST8/01113 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, zatytułowanego: „Metoda kwantyfikacji susz energetycznych źródeł odnawialnych w oparciu o dane historyczne i projekcje zmian klimatu”.

### Literatura

- [1] Raynaud D. et al., *Energy droughts from variable renewable energy sources in European climates*, “Renewable Energy” 2018, Vol. 125, pp. 578–589, doi: 10.1016/j.renene.2018.02.130.
- [2] Kittel M., Schill W.-P., *Measuring the Dunkelflaute: How (not) to analyze variable renewable energy shortage*, Cornell University, 2024, doi: 10.48550/arxiv.2402.06758.
- [3] Global Modeling and Assimilation Office (GMAO), inst3\_3d\_asm\_Cp. MERRA-2 3D, IAU State, Meteorology Instantaneous 3-hourly (p-coord, 0.625×0.5L42), version 5.12.4, Greenbelt, MD, USA, Goddard Space Flight Center Distributed Active Archive Center (GSFC DAAC) 2015, doi: 10.5067/VJAFPL11CSIV [accessed on 22-05-2024].



# POPRAWA SPRAWNOŚCI POMPY PRACUJĄCEJ W TRYBIE TURBINOWYM POPRAWIEZ MODYFIKACJĘ GEOMETRII SPIRALI

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF A PUMP OPERATING IN TURBINE MODE THROUGH MODIFICATIONS TO THE VOLUTE-CASING GEOMETRY

Anna Chernobrova, Oleksandr Moloshnyi, Artur Machalski

Katedra Inżynierii Konwersji Energii, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [anna.chernobrova@pwr.edu.pl](mailto:anna.chernobrova@pwr.edu.pl)

Rekuperacja energii hydraulicznej za pomocą pomp wirowych (pomp w ruchu turbinowym) polega na odwróceniu kierunku przepływu przez maszynę i wykorzystaniu jej do redukcji parametrów hydraulicznych. Pozwala to na ograniczenie kosztów budowy małej elektrowni wodnej w aspekcie turbinowym przy zachowaniu akceptowalnego poziomu sprawności. Wirmnik uważany jest za najważniejszy roboczy element pompy lub turbiny, a bardzo mało uwagi zwracane jest na jego współpracę ze spiralą. Spiralny kanał zbiorczy jest elementem pompy dwustrumieniowej służącym odprowadzaniu cieczy z wirnika (lub doprowadzaniu w turbinowym trybie pracy). Od metody projektowania kanału spiralnego zależą straty hydrauliczne oraz położenie optymalnego punktu pracy pompy lub turbiny. Celem zaprezentowanych badań jest określenie wpływu spiralnego kanału zbiorczego na parametry energetyczne pompy w pracy turbinowej.

Badania przeprowadzono dla pompy dwustrumieniowej z wysokim wyróżnikiem szybkoobrotowości. Parametry: wydajność 2000 m<sup>3</sup>/h, wysokość podnoszenia 43 m, prędkość obrotowa 1488 obr/min, kinematyczny wyróżnik szybkoobrotowości spirali 66, kinematyczny wyróżnik szybkoobrotowości wirnika 47. Zaprojektowano nowe spiralne kanały zgodnie z metodą stałego krętu cieczy (zwolennikiem metody jest Lomakin [1]) i metodą stałej prędkości średniej (zwolennikiem metody jest Stepanoff [2]). Oprócz wymienionych metod wykorzystano zalecenia Stepanoffa [2] dotyczących relacji geometrycznych parametrów spirali (tabela 1).

Badania pracy pompy w trybie turbinowym były prowadzone za pomocą modelowania numerycznego. Przy obliczeniach zastosowano metodę Reynolds-Averaged Navier–Stokes (RANS) ze standardowym modelem turbulencji  $k-\epsilon$ .

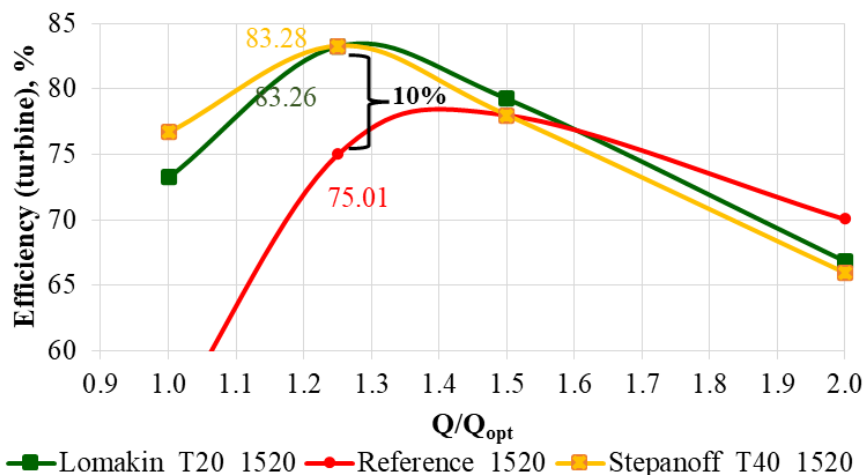
Wyniki badań pokazują, że największy wpływ na parametry pracy pompy w trybie turbinowym ma metoda projektowania spirali. Największą sprawność i spadek ciśnienia uzyskano na spirali zapro-

jektowanej metodą Stepanoffa (rys. 1). Spirala zaprojektowana metodą Lomakina uzyskała mniejszą sprawność ( $\sim 1\%$ ).

Tabela 1. Wytyczne konstrukcyjne oraz przyjęte parametry geometryczne spirali

Autor	Spirala Lomakina	Spirala Stepanoffa
Metoda	Metoda stałego krętu cieczy	Metoda stałej prędkości średniej
Szerokość wlotowa spirali	183 mm	183 mm
Średnica wlotowa spirali	522 mm	522 mm
Kształt przekroju	Trapezowa (I) i okrągła (R)	Trapezowa (I) i okrągła (R)
Kąt rozwarcia ścian	$10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$	$10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$

Spirale zaprojektowane według metody stałego krętu cieczy (spirala Lomakina) i metodą stałej prędkości średniej (spirala Stepanoffa) uzyskały zdecydowanie lepszą charakterystykę niż spirala referencyjna. Różnica pomiędzy referencyjną spiralą i spiralami zaprojektowanymi przez autora stanowi 10%. Oznacza to, że kanał spiralny ma istotne znaczenie w konstrukcji pompy, która ma pracować w ruchu turbinowym.



Rys. 1. Porównawcza charakterystyka sprawności pompy w pracy turbinowej dla spirali Lomakina i Stepanoffa, gdzie  $T_{opt}$  – trapezowy kształt przekroju poprzecznego spirali i kąt rozwarcia ścian

### Podziękowania

Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu zasobów udostępnionych przez Wrocławskie Centrum Sietkowo-Superkomputerowe (<http://wcss.pl>), grant 444.

---

## Literatura

- [1] Lomakin A., *Centrobieżniye i osiawnye nasosy*, Leningrad: Masinostrojenije, 1965.
- [2] Stepanoff A., *Centrifugal and Axial Flow Pumps*, Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 1957.



# WSTĘPNE OBLICZENIA SYSTEMU ENERGETYCZNEGO OPARTEGO NA ODNAWIALNYCH ŹRÓDŁACH ENERGII I TECHNOLOGIACH WODOROWYCH DLA WYBRANEGO AEROKLUBU

## PRELIMINARY CALCULATIONS OF AN ENERGY SYSTEM BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES AND HYDROGEN TECHNOLOGIES FOR A SELECTED FLYING CLUB

Maciej Cholewiński

Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

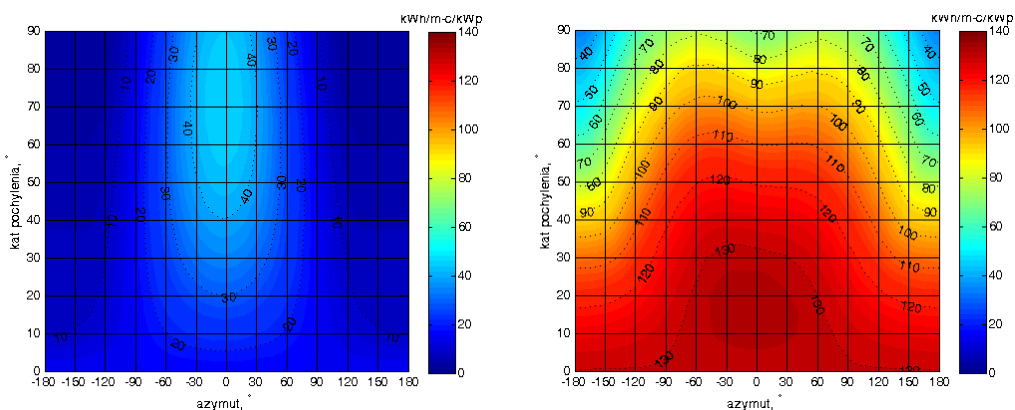
Adres do korespondencji: [maciej.cholewinski@pwr.edu.pl](mailto:maciej.cholewinski@pwr.edu.pl)

Postępująca transformacja proekologiczna stanowi jeden ze znaków rozpoznawczych współczesnych gospodarek wielu państw świata. Skomercjalizowane jeszcze w XX wieku, a przez ostatnie dekady powszechnie stosowane rozwiązania – cechujące się przy tym najczęściej nadmiernymi jednostkowymi uwolnieniami szkodliwych substancji do otoczenia, są stopniowo zastępowane (bądź też muszą zostać w nieodległej przyszłości zmodernizowane), w myśl obowiązujących trendów lub rozporządzeń, przez tzw. zielone (niskoemisyjne – najlepiej w perspektywie całego cyklu życia) techniki i technologie. Co przy tym niezwykle istotne, obowiązek ograniczania emisji zanieczyszczeń i ogólnej dbałości o lokalne środowisko dotyczy coraz większej liczby branż i sektorów – w tym także lotnictwa cywilnego (komunikacyjnego, gospodarczo-usługowego) czy też lotnictwa ogólnego lub sportowego. W efekcie, dokonujące się zmiany mające na celu ograniczenie ingerencji człowieka w środowisko naturalne nabierają powszechnego charakteru, niekoniecznie związanego tylko i wyłącznie z ciężkim przemysłem, „dużym” lotnictwem bądź emisjami bezpośrednimi z pojazdów, stanowiąc o potrzebie systemowego podchodzenia do zmian, angażując niemal bezpośrednio praktycznie każdego człowieka lub użytkownika rynku.

Podjęte w ostatnich latach prace zmierzające do ograniczenia negatywnego wpływu lotnictwa na otoczenie objęły szereg aspektów natury konstrukcyjno-eksploatacyjnej, m.in. kwestie związane z aerodynamiką statków powietrznych, implementacje nowych materiałów konstrukcyjnych oraz komercjalizację bardziej efektywnych napędów lub silników lotniczych (m.in. jednostek turbowentyla-

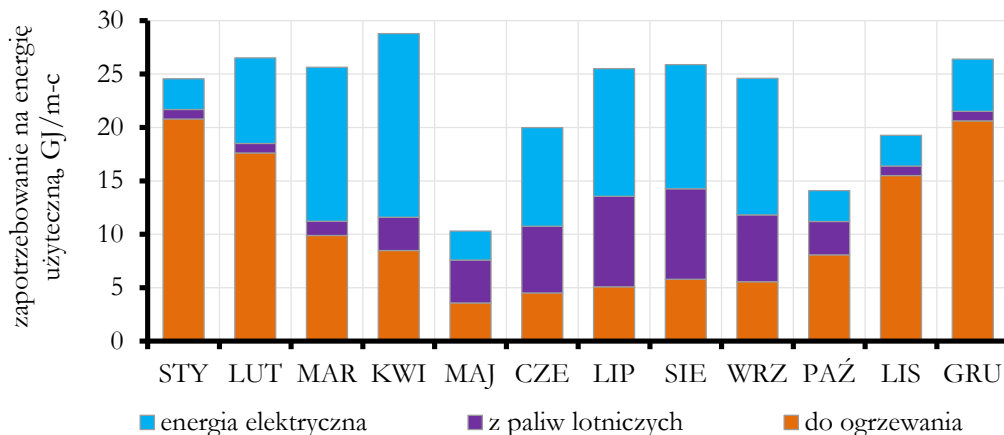
torowych o wysokim współczynniku dwuprzepływowości, silników elektrycznych sprzężonych z systemami bateryjnymi, turbodoladowanych silników tłokowych). Przyniosły one szereg wymiernych korzyści środowiskowych, jednakże nie zagwarantowały uzyskania zakładanego stopnia redukcji szeroko pojętych emisji lotniczych. Ekspertcy wykazują, iż do spełnienia warunku pełnej neutralności klimatycznej lotnictwo wymaga bowiem wdrożenia znacznie bardziej drastycznych zmian – m.in. stosowania zupełnie nowych rodzajów silników (elektrycznych, wodorowych) lub paliw (np. SAFs – ang. *Sustainable Aviation Fuels*) oraz jednoczesnego stworzenia odpowiedniej, dedykowanej ich wykorzystaniu bądź obsłudze, infrastruktury naziemnej, wpisującej się w przyszłe krzywe popytu i podaży na nośniki energii w lotnictwie.

W niniejszej pracy podjęto się wstępnej analizy możliwości wykorzystania wybranych technologii OZE (Odnawialnych Źródeł Energii) oraz instalacji wodorowych w kontekście uzyskania pełnej bądź częściowej niezależności energetycznej przykładowego stowarzyszenia lotnictwa sportowo-turystycznego – Aeroklubu Jeleniogórskiego. Wpisuje się ona w wyżej przywołane trendy ogólnoświatowe i ma na celu wskazanie najważniejszych wymagań, wyzwań i potrzeb, przed którymi stanie wiele stowarzyszeń tego typu w najbliższych latach. Szczególną uwagę poświęcono m.in. identyfikacji wpływu położenia paneli fotowoltaicznych na miesięczny i roczny uzysk energii elektrycznej, przeprowadzeniu autorskiej oceny (z punktu widzenia generacji użytecznych form energii) celowości zastosowania na terenie lotniska turbin wiatrowych oraz ustaleniu najważniejszych wymagań związanych z infrastrukturą użytkowania wodoru (tzw. wyspy wodorowej) – tak w kontekście paliwa lotniczego, jak i stacjonarnego magazynu energii (w tym w kontekście systemu prosumenckiego).



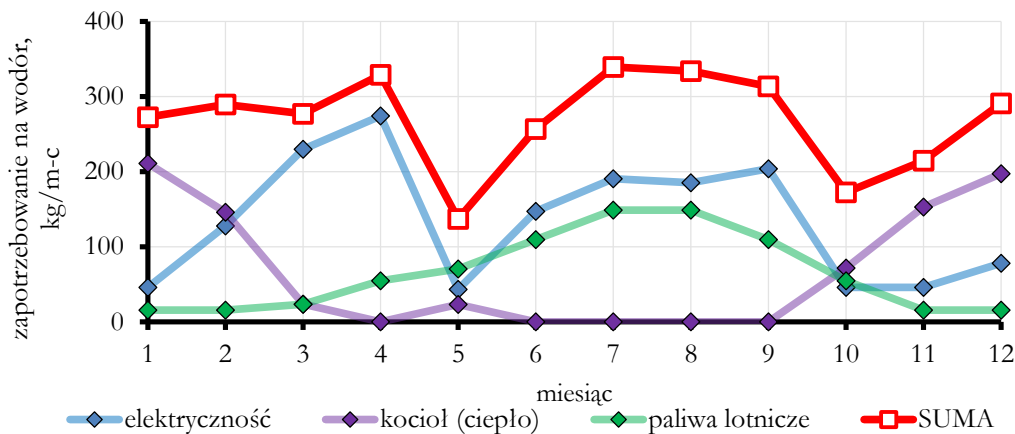
Rys. 1. Wykresy miesięcznego uzysku energii elektrycznej z technologii fotowoltaicznych dla Jeleniej Góry – w przeliczeniu na kWp mocy zainstalowanej – w funkcji kąta pochylenia panelu względem ziemi oraz azymutu – dla grudnia (po lewej) i lipca (po prawej) (opracowanie własne na podstawie danych z PVGIS)

W trakcie analiz wykorzystano ogólnodostępne bazy danych pogodowych, m.in. PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System – rys. 1), Global Wind Atlas oraz Weather Underground (ta ostatnia posłużyła do aproksymacji dziennej zmienności warunków wietrznych), oraz przywołano przykładowe modele służące szacowaniu możliwego do podjęcia stopnia konwersji energii odnawialnej na najpopularniejsze formy energii użytkowej (elektryczność, ciepło, energię chemiczną – rys. 2).



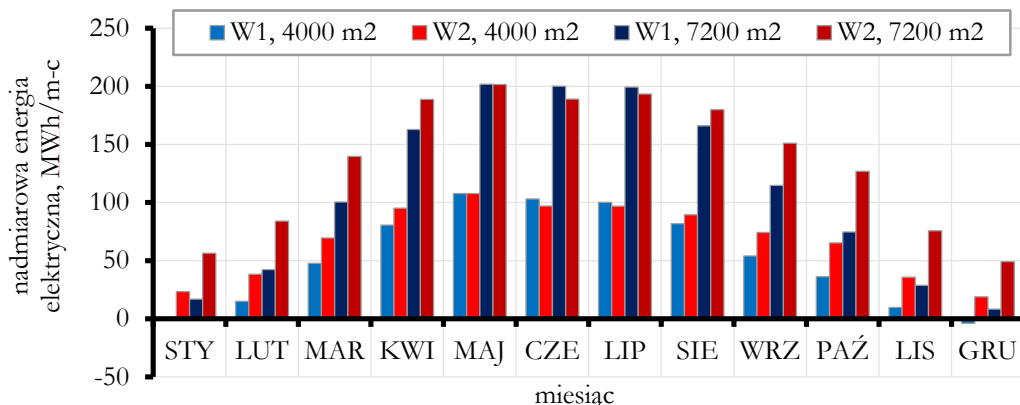
Rys. 2. Miesięczny popyt na poszczególne formy energii użytecznej Aeroklubu (opracowanie własne)

W pracy wykazano przykładowo, iż 1 m<sup>2</sup> ogniw fotowoltaicznych dostarczyć może tylko od ok. 2,5 do blisko 5 kg wodoru w skali roku, natomiast 1 turbina wiatrowa o mocy zainstalowanej 3 MW (z ok. 50-metrowymi łopatomy) – nieco ponad 100 ton wodoru rocznie. Wartości te zestawiono z przykładowym jednostkowym zużyciem paliwa przez statki powietrzne (0,25–0,40 kg/kWh w przypadku silników tłokowych, 0,20–0,35 kg/kWh w przypadku silników turbośmigłowych), opracowując przykładowe wskaźniki użytkowe i emisyjne możliwe do wykorzystania podczas przechodzenia ze stosowania konwencjonalnych paliw lotniczych na rzecz wodoru (w ujęciu jego bezpośredniego spalania i wykorzystania w ogniwach paliwowych).



Rys. 3. Miesięczne zapotrzebowanie na wodór – dla przypadku pełnego przejścia na technologie wodorowe w ujęciu magazynowania, wykorzystania w statkach powietrznych oraz ogrzewania (opracowanie własne)

Podczas wystąpienia przywołano także zapotrzebowanie energetyczne na produkcję ww. nośnika energii (rys. 3) za pośrednictwem elektrolizerów sprzężonych z OZE (a więc tzw. wodoru zielonego) oraz ilość energii niezbędnej do dostarczenia w celu jego sprężenia (do 300–700 bar) lub skraplania. Przedłożono także nomogramy służące szacowaniu spodziewanych – miesięcznych i rocznych – uzysków energetycznych (w przeliczeniu na 1 kWp mocy zainstalowanej) z paneli fotowoltaicznych w funkcji kąta pochylenia oraz orientacji względem kierunku południowego, potwierdzając przy tym pewną względną swobodę w obieraniu płaszczyzny tworzących je ogniwo oraz możliwość sterowania podażą na energię elektryczną pochodzącą z tej grupy technologii OZE (co może leżeć u podstaw funkcjonowania przyszłych instalacji prosumenckich – rys. 4).



Rys. 4. Miesięczna ilość energii elektrycznej generowanej w Aeroklubie do zagospodarowania zewnętrznego W1 – panele PV zamontowane na stałe w pozycji horyzontalnej, W2 – panele zamontowane na stałe, zoptymalizowane pod kątem maksymalizacji rocznego uzysku energii (azymut  $-6^\circ$ , pochylenie  $40^\circ$ )

Wystąpienie zakończono zwięzłym podsumowaniem, zestawieniem najważniejszych wyników analiz oraz propozycją świadomego podejmowania się proekologicznych zmian w aeroklubach we współpracy z inżynierami – energetykami (nie tylko związanymi ściśle z branżą lotniczą).

### Podziękowania

Autor składa serdeczne podziękowania Władzom i Członkom Aeroklubu Jeleniogórskiego za udostępnienie danych niezbędnych do podjęcia niniejszych oznaczeń oraz okazane wsparcie.

### Literatura

- [1] Li B. et al., *Research and Analysis on Energy Consumption Features of Civil Airports*, “IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science” 2017, Vol. 94, 012134, doi: 10.1088/1755-1315/94/1/012134.
- [2] Clean Sky 2, Fuel Cells & Hydrogen 2 Joint Undertakings, *Hydrogen-powered aviation. A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050*, The Print Agency in Belgium, May 2020.



# MODELOWANIE STRUKTUR DWUFAZOWYCH PODCZAS RUCHU OSCYLACYJNEGO W KANAŁACH O MAŁEJ ŚREDNICY W WARUNKACH MIKROGRAWITACJI PRZY WYKORZYSTANIU KOMPUTEROWEJ DYNAMIKI PŁYNÓW

## MODELLING OF TWO-PHASE STRUCTURES DURING OSCILLATING MOTION IN A SMALL DIAMETER CHANNEL IN MICROGRAVITY CONDITIONS USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Tomasz Duraziński, Andrzej Ireneusz Nowak, Sławomir Pietrowicz

Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [tomasz.durazinski@pwr.edu.pl](mailto:tomasz.durazinski@pwr.edu.pl)

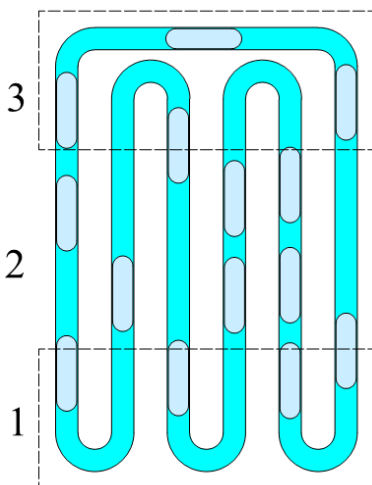
Współczesny rozwój technologii komputerowych umożliwia wykorzystanie coraz większych zasobów obliczeniowych do przeprowadzania analiz przy użyciu komputerowej dynamiki płynów (CFD). Obliczenia numeryczne oparte na CFD otwierają szerokie możliwości projektowania systemów ciepło-przepływowych w różnych dziedzinach. Szczególnie istotnym obszarem są przepływy wielofazowe, powszechnie występujące zarówno w naturze, jak i w przemyśle. Ich zakres jest szeroki, obejmując energetykę konwencjonalną [1] i jądrową [2], jak również przemysł kosmiczny. Zarówno w jednym, jak i drugim przypadku, CFD może przyczynić się do wspomagania obliczeń procesów transferu masy i ciepła w celu osiągnięcia optymalnych parametrów pracy oraz zachowania bezpieczeństwa.

W przemyśle kosmicznym kluczowym aspektem projektowym jest efektywna kontrola termiczna systemów elektronicznych, aby zapewnić ich optymalną funkcjonalność. Brak dostępności w razie ewentualnych awarii wymaga wykorzystania jak najbardziej niezawodnych systemów pozwalających na transport ciepła. Rozwiązanie tego typu problemu dostarczają pulsacyjne rurki ciepła (PHIP). Ich konstrukcję można podzielić na trzy zasadnicze strefy, co przedstawiono na rys. 1. Odparowanie czynnika następuje w pierwszej strefie, gdzie pobierane jest ciepło od urządzenia, następnie mieszanina ciecz-para przepływa przez sekcję adiabatyczną oznaczoną numerem dwa. Finalnie w części trzeciej, odpowiadającej skraplaczowi, następuje rozproszenie ciepła do otoczenia. Na podstawie infor-

macji dostarczonych przez Ma [3] wiadomo, że w kanałach o średnicy kapilarnej ruch korków gazu odbywa się w sposób oscylacyjny, mogący być opisany przez równanie (1):

$$u_m = u_{max,m} \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

Dodatkowo wskazał on, że w jakości wymiany ciepła rolę odgrywa charakterystyka przepływu, jaka występuje w jego trakcie. Symulacje komputerowe pozwalają na przeprowadzenie obliczeń w celach weryfikacyjnych oraz wcześniejszego sprawdzenia parametrów pracy zaprojektowanych instalacji. Niewielkie średnice kanałów oraz warunki mikrogravitacji są dobrym przykładem, w którym można wykorzystać komputerową dynamikę płynów w celach weryfikacyjnych oraz lepszego zrozumienia obserwowanych zjawisk.



Rys. 1. Szkic przedstawiający budowę pulsacyjnej rurki ciepła.

Legenda: 1 – parowacz, 2 – strefa adiabatyczna, 3 – skraplacz

Pierwsza część niniejszej pracy obejmuje przegląd obecnego stanu wiedzy dotyczący modelowania przepływów dwufazowych w kanałach o niewielkiej średnicy, takich jak te występujące w pulsacyjnych rurek ciepła. W drugiej części pracy przedstawione zostały wyniki obliczeń numerycznych analizy struktur korków pary w kanale o średnicy 4 mm, podczas izotermicznego przepływu oscylacyjnego w mikrogravitacji. Obliczenia wykonane zostały dla dwóch konfiguracji, w pierwszej pojedynczego korka pary o długości 20R natomiast w drugiej 3 mniejszych korków o długości 5R i 10R. Otrzymane dane zostały porównane z wynikami badań eksperymentalnych przeprowadzonych w warunkach mikrogravitacji w wieży zrzutów w Bremen [4]. Wszystkie obliczenia zostały wykonane przy użyciu oprogramowania OpenFOAM [5], wykorzystującego metody objętości skończonych (FVM) oraz metodę objętości płynu (VOF) [6]. W obliczeniach rozwiązane zostało równanie ciągło-

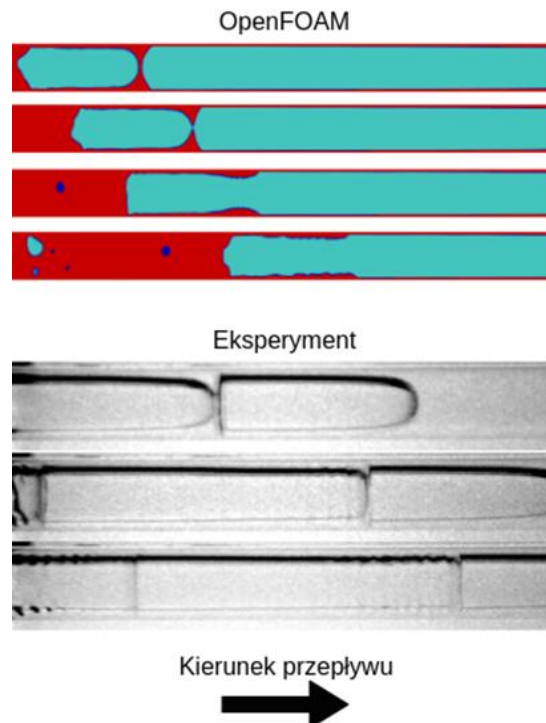
ści (2), równanie zachowania momentu (3) oraz równanie transportu (4) dla ułamka objętości odnoszącego się do cieczy, gdy jego wartość równa jest 1, oraz do gazu, gdy wartość równa jest 0:

$$\nabla \cdot U = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot [\rho U U] = -\nabla p_{rgh} + \nabla \cdot [\mu(\nabla U + \nabla U^T)] + \rho g + f_{\sigma} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha U) + \nabla \cdot [\alpha(1 - \alpha)U_r] = 0 \quad (4)$$

Wyniki przedstawione w pracy wskazują na ogromne możliwości, jakie daje wykorzystanie komputerowej dynamiki płynów. Na podstawie wyników obliczeń przedstawiono możliwości jakie daje CFD w odwzorowywaniu zachowania się struktur korków pary podczas oscylacyjnego przepływu w mikrogravitacji. Przegląd stanu wiedzy ukazuje obszary, w których zastosowania znalazły obliczenia CFD. Zachowanie się korków oraz otrzymane struktury odpowiadają tym zaobserwowanym podczas eksperymentu.



Rys. 2. Zjawisko połączenia się 2 korków pary otrzymane podczas obliczeń numerycznych oraz zaobserwowane w eksperymencie

## Źródło finansowania

Publikacja powstała w ramach grantów nr 309 i 441. Obliczenia zostały przeprowadzone we Wrocławskim Centrum Sietkowo-Superkomputerowym (<http://www.wcss.pl>). Praca była także wspierana przez Europejską Agencję Kosmiczną (grant CORA).

## Literatura

- [1] Vijapurapu S. et al., *CFD application for coal/ air balancing in power plants*, “Appl. Math. Model.” 2006, Vol. 30, No. 9, pp. 854–866, doi: 10.1016/j.apm.2005.06.005.
- [2] Barbero R. et al., *Investigation of the near-range dispersion of particles unexpectedly released from a nuclear power plant using CFD*, “Environ. Fluid Mech.” 2015, Vol. 15, No. 1, pp. 67–83, doi: 10.1007/s10652-014-9359-y.
- [3] Ma H., *Oscillating Heat Pipes*, New York, NY: Springer New York, 2015, doi: 10.1007/978-1-4939-2504-9.
- [4] Nowak A.I. et al., *Bubble coalescence and break-up in confined oscillating two-phase flows under microgravity conditions*, “Int. J. Heat Mass Transf.” 2022, Vol. 192, 122905, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.122905.
- [5] OpenFOAM – <https://www.openfoam.com/> [dostęp: 14.05.2024].
- [6] Hirt C.W., Nichols B.F., *Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries*, “J. Comput. Phys.” 1981, Vol. 39, No. 1, pp. 201–225, doi: 10.1016/0021-9991(81)90145-5.

# KONCEPCJA BADAŃ NOWEGO UKŁADU ROZRZĄDU DO CZTEROSUWOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH – RUROWY WIRUJĄCY UKŁAD ROZRZĄDU

## RESEARCH CONCEPT OF NEW TYPE TIMING SYSTEM FOR FOUR-STROKES COMBUSTION ENGINES – ROTATING PIPE TIMING SYSTEM

Jean-Marc Fafara

Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [jean-mar.fafara@pwr.edu.pl](mailto:jean-mar.fafara@pwr.edu.pl)

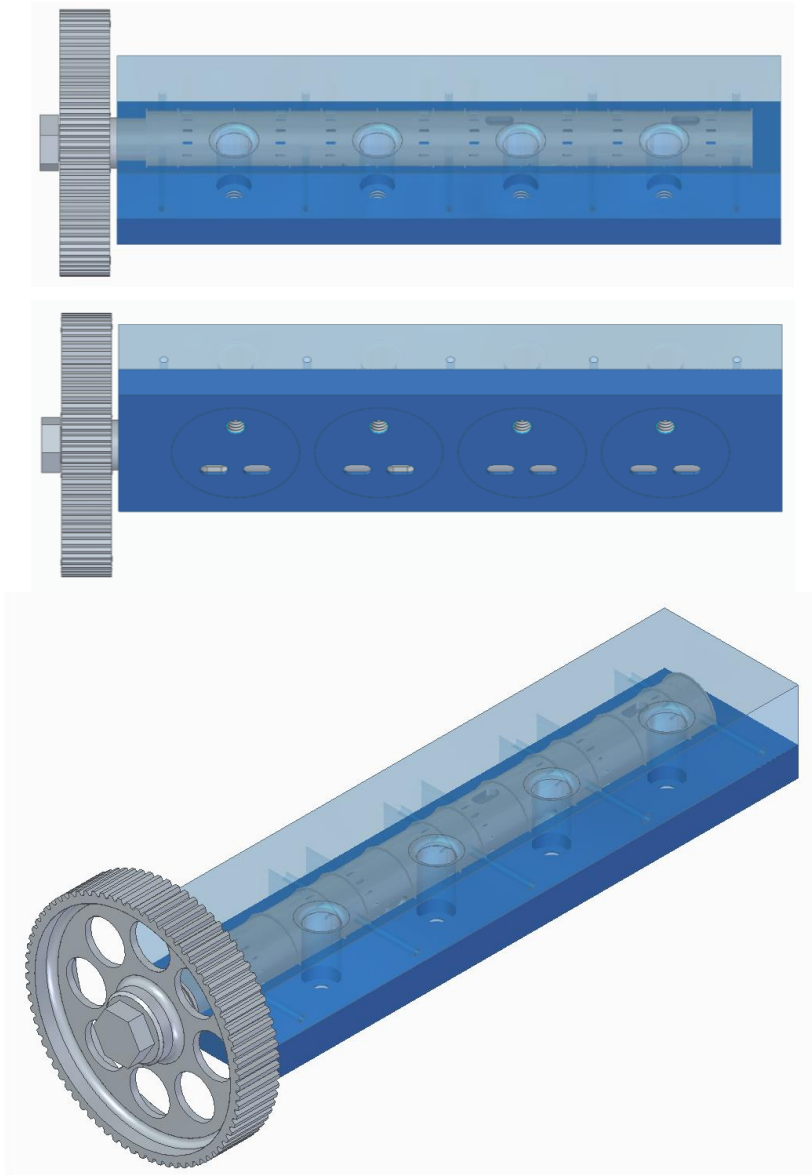
Współczesny świat opiera się na możliwości rozwoju podpartą rozbudowaną dostępnością do energetyki oraz na możliwości szybkiego przemieszczania się po powierzchni kuli ziemskiej. Energetyka jest dziedziną nauki oraz techniki, która nieustannie ewoluje w celu dostosowania się do zmieniających się wymagań związanych z dostawą oraz odbiorem energii. Pierwotnie dostarczano do odbiorcy energię w danej chwili wytwarzaną. W przypadku nadprodukcji energii elektrycznej, w wyniku występowania korzystnych warunków środowiskowych, nie posiadano możliwości magazynowania produkowanego nadmiaru energii w celu jej późniejszej konsumpcji. Wraz z rozwojem dziedziny energetycznej, pojawiła się potrzeba magazynowania nadmiaru energii elektrycznej. Można tutaj wymienić liczne idee, które mają na celu magazynowanie oraz oddawanie energii: magazyny wodno-grawitacyjne, magazyny bezwładnościowe, magazynowanie energii w postaci wytwarzanego paliwa (hydroliza, metanizacja...) itp. W ostatnim przypadku powstałe paliwo (wodór, metan itp.) można używać do napędzania urządzeń energetycznych, takich jak agregaty prądotwórcze. W budowie agregatów prądotwórczych wykorzystuje się bardzo powszechnie silniki tłokowe, nieco rzadziej turbiny gazowe, a nawet ogniwa paliwowe. Można zatem stwierdzić wykorzystanie silników tłokowych w dziedzinie energetyki. Transport jest dzisiaj elementem nierozłącznym naszego życia. Dzięki nauce oraz technice nieustannie rozwijających nowsze i efektywniejsze środki transportu, świat jest zdecydowanie mniejszy niż przed rewolucją środków transportu, czyli przed rewolucją przemysłową. Do powszechnie używanych środków transportu można zaliczyć motocykle, samochody, autokary, pociągi, samoloty itp. W większości wymienionych środków transportu w skład zespołu napędowego wchodzi silnik tłokowy. Można zatem stwierdzić, że w dziedzinie transportu, podobnie jak w dziedzinie energetyki, wykorzystywane są powszechnie silniki tłokowe. Na podstawie powyższego można stwierdzić, że wspólnym obiektem technicznym branż energetyki i transportu jest silnik tłokowy.



Biorąc pod uwagę istotę energetyki oraz transportu, można podkreślić wagę oraz ważność badań oraz rozwoju napędów tłokowych [1].

Silniki tłokowe mają za zadanie przetwarzanie energii zawartej w paliwie na energię mechaniczną, która z kolei może zostać przetworzona na inne formy energii, według potrzeb. Silniki tłokowe mogą funkcjonować w oparciu o przebieg czterosuwowy lub dwusuwowy. Ze względu na korzyści, jakie niesie przebieg czterosuwowy względem przebiegu dwusuwowego (mniejsze zużycie paliwa, mniejsza proporcja spalin w świeżej mieszance powietrzno-paliwowej, lepsza jakość spalania paliwa, płynność sterowania itp.), to właśnie przebieg czterosuwowy jest częściej stosowany. W silniku czterosuwowym, zgodnie z nazwą, zachodzą cztery oddzielne suwy pracy: suw ssania, suw sprężania, suw pracy oraz suw wydechu. Podczas suwu ssania za pośrednictwem głowicy silnika dostarczane jest powietrze (oraz ewentualnie paliwo) do komory spalania. Podczas suwu sprężania mieszanina paliwowo-powietrzna jest sprężana; głowica silnika uniemożliwia wymianę gazów z zewnątrz silnika. Podczas pracy dochodzi do ekspansji gazów spalinowych, co umożliwia wygenerowanie momentu na wale korbowym, tutaj cylinder jest odcięty od wymiany gazów ze środowiskiem. Ostatecznie gazy spalinowe (podczas suwu wydechu) są usuwane z komory spalania za pośrednictwem głowicy silnika. Głowica silnika jest standardowo wyposażona w zawory, które będąc zsynchronizowane z wałem korbowym, umożliwiają wymianę gazów pomiędzy komorą spalania a innymi komponentami silnika. Rolą głowicy jest zapewnienie dostarczenia świeżej mieszanki paliwowo-powietrznej do komory spalania, usunięcie spalin oraz zapewnienie szczelności, a to wszystko w ściśle ograniczonych momentach czasowych i w określonych położeniach wału korbowego. Współcześnie wykorzystywane głowice silników (wraz z zaworami) prezentują takie wady, jak: pobór mocy do napędzania mechanizmu krzywkowego zaworów (1), zużywanie się układu rozrządu (pasek, łańcuch, koła zębate i mokry pasek) (2), generowanie hałasu (3), pojawianie się problemów związanych z bezwładnością sprężyn przy wysokich obrotach (4), ewentualność uszkodzenia całkowitego silnika podczas awarii układu rozrządu w silnikach kolizyjnych (5). W celu rozwiązania wymienionych (5) wad związanych ze stosowaniem standardowych głowic do silników tłokowych czterosuwowych, zaproponowano opracowanie oraz przebadanie nowego rodzaju głowicy: głowica o wirującym rurowym zaworze. Koncepcja głowicy została przedstawiona na rys. 1, zaś szczegóły jej budowy zostaną omówione podczas wygłaszania referatu. Zaproponowana koncepcja głowicy zakłada wykorzystanie wirującego zaworu, który umożliwiłby wymianę gazów pomiędzy komorą spalania a wybranymi komponentami silnika w sposób zsynchronizowany z wałem korbowym. Zaproponowana głowica umożliwi ograniczenie ilości ruchomych elementów pracujących w głowicy oraz uproszczenie kinematyki głowicy. Wirująca rura posiadałaby dwa rozdaje powierzchni – powierzchnie wymiany gazów (obarczone otworami) oraz powierzchnie ślizgowe, które umożliwiłyby łożyskowanie wirującej rury w sposób trwały w czasie. Koncepcja głowicy umożliwi ograniczenie poboru mocy niezbędnej do napędu głowicy, co również przelożyłoby się na żywotność układu rozrządu. Brak występowania klasycznych zaworów, wyposażonych w sprężyny domykające, umożliwi ograniczenie hałasu oraz wyeliminuje problematykę zjawisk bezwładnościowych zaworów klasycznych. Ostatecznie, zaproponowana koncepcja głowicy silnika eliminuje w sposób niepodważalny ryzyko zniszczenia silnika podczas awarii układu rozrządu oraz upraszcza obsługę silnika. Można zatem stwierdzić, że wcześniej przedstawione wady klasycznych głowic silników mogą zostać potencjalnie wyeliminowane poprzez zastosowanie nowego

rodzaju głowicy silnika. Oczywiście, nowa głowica posiada również swoje własne wady, a mianowicie pojawiają się kwestie szczelności takich zaworów w porównaniu do zaworów klasycznych.



Rys. 1. Wstępna koncepcja głowicy silnika o rurowym wirującym zaworze

W przeszłości podobne rozwiązanie zostało zaproponowane i nosiło nazwę „Coates Overhead Spherical Valve Engine” [2]. W tym rozwiązaniu głowica była wyposażona w zawory wirujące, lecz o kształcie kulowym. Wybrany kształt zaworów generował problemy szczelności oraz trwałości łożyskowania. W zaproponowanej nowej koncepcji głowicy problem łożyskowania postarano się zlikwidować poprzez wprowadzenie segmentów ślizgowych oraz smarowania olejem pod ciśnieniem. Kwestię szczelności usiłowano rozwiązać poprzez dodanie przegród labiryntowych pomiędzy segmentami wymiany gazów.

W celu zweryfikowania usunięcia wad klasycznych głowic oraz oceny osiągnięć nowej głowicy, należy zaplanować badania. Badania skupione wokół nowej głowicy należy rozplanować w następujących etapach:

- wybór silnika do badań,
- projekt nowej głowicy,
- wykonanie pomiarów na hamowni silnika z użyciem klasycznej głowicy silnika,
- wykonanie pomiarów na hamowni silnika z użyciem nowej głowicy silnika,
- badania trwałości głowicy klasycznej oraz nowej.

Na podstawie powyższych badań możliwa będzie ocena zalet i wad zaproponowanej głowicy względem klasycznej. Przeprowadzona analiza umożliwi uzasadnienie stosowania/niestosowania zaproponowanej głowicy. W przypadku uzyskania zalet, zaproponowana koncepcja głowicy umożliwiłaby potencjalny rozwój energetyki oraz transportu, dziedzin napędzających współczesne społeczeństwo oraz świat.

## Literatura

- [1] Fafara J.-M., Modliński N., *Numerical study of internal flue gas recirculation system applied to methane-hydrogen powered gas microturbine combustor*, “Combustion Engines” 2023, Vol. 192, No. 1, pp. str. 63-77, <https://doi.org/10.19206/CE-152236>
- [2] Zibania I. et al., *Software Controlled Stepping Valve System for a Modern Car Engine*, 14th Global Conference on Sustainable Manufacturing, GCSM, 3–5.11.2016, Stellenbosch, RPA, 2017.



# BADANIE REAKTYWNOŚCI WYBRANYCH STAŁYCH NOŚNIKÓW TLENU Z PALIWEM GAZOWYM

## REACTIVITY OF SELECTED OXYGEN CARRIERS WITH GASEOUS FUEL

Krzysztof Ferfecki, Rafał Łysowski, Ewelina Ksepko

Katedra Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych, Wydział Chemiczny,  
Politechnika Wroclawska

Adresy do korespondencji: [270366@student.pwr.edu.pl](mailto:270366@student.pwr.edu.pl), [ewelina.ksepko@pwr.edu.pl](mailto:ewelina.ksepko@pwr.edu.pl)

Chemiczna pętla tlenkowa (CLC) to proces, który może być używany do spalania paliw zarówno stałych, jak i ciekłych oraz gazowych. Jego niewątpliwą zaletą jest brak emisji do atmosfery tlenków azotu typu  $\text{NO}_x$ . Kolejnym ciekawym rozwiązaniem jest bezpośredni transport tlenu z reaktora powietrznego do reaktora paliwowego za pomocą stałych nośników tlenu. Co istotne, w CLC nie ma miejsca na pobieranie tlenu z powietrza, co czyni go procesem o wiele bardziej wydajnym i selektywnym w porównaniu do konwencjonalnych metod spalania paliw. Tematem niniejszego wystąpienia jest ukazanie wyników badań dotyczących reaktywności wybranych nośników tlenu, którymi są spinele – tlenki metali o specyficznej strukturze i właściwościach, a jednocześnie obszar zainteresowań wielu naukowców. Omawiane badania zostały wykonane metodą termogravimetryczną, która pozwala zaobserwować zachowanie nośnika w mikroskali i precyzyjnie przewidzieć jego zachowanie w instalacji przemysłowej.

### Źródło finansowania

Praca została sfinansowana w ramach projektu NCN nr 2020/37/B/ST5/01259.



# TECHNOLOGIE GOSPODAROWANIA ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI POCHODZĄCYMI Z ELEKTROWNI JĄDROWYCH NA PRZYKŁADZIE RYNKU AMERYKAŃSKIEGO

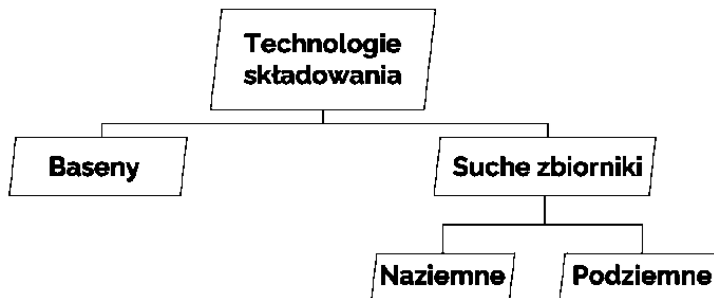
## TECHNOLOGIES FOR MANAGING RADIOACTIVE WASTE FROM NUCLEAR POWER PLANTS ON THE AMERICAN MARKET EXAMPLE

Sandra Jarmuła, Mateusz Lichoń

Kolo Naukowe ThermoRES, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [260769@student.pwr.edu.pl](mailto:260769@student.pwr.edu.pl)

W scenariuszu przewidywanym przez Międzynarodową Agencję Energetyczną redukcja emisji CO<sub>2</sub> do 2040 roku uwzględnia energię jądrową jako źródło dostarczające 15-20% energii na świecie. Aby osiągnąć ten udział energii atomowej, należy rozwiązać problem dotyczący zarządzania odpadami jądrowymi oraz ich składowania [1].



Rys. 1. Podział technologii składowania odpadów radioaktywnych

Gospodarowanie odpadami radioaktywnymi jest kluczowym aspektem jądrowego cyklu paliwowego, a technologie składowania tych odpadów stanowiły wyzwanie już od początków eksploatacji elektrowni jądrowych na całym świecie. Stany Zjednoczone jako prekursor w dziedzinie reaktorów



jądrowych od lat próbują rozwiązać problemy technologiczne neutralizacji odpadów promieniotwórczych.

W referacie przedstawiono krótką historię rozwijania się technologii gospodarowania odpadami radioaktywnymi w USA oraz rozważane rozwiązania na przestrzeni lat, zarówno te odrzucone, jak i przyjęte. Pokazano różnice pomiędzy składowaniem odpadów niskoaktywnych, wysokoaktywnych oraz transuranowych [2]. Omówiono poszczególne lokalizacje składowisk oraz zaprezentowano wykorzystywane technologie ich przechowywania, jednocześnie porównując je z rozwiązaniami sprzed lat.

## Literatura

- [1] Kayla H. et al, *Investing in a permanent and sustainable nuclear waste disposal solution*, “Progress in Nuclear Energy” 2018, Vol. 108, pp. 474–479.
- [2] Lowenthal, M.D., *Radioactive-waste classification in the United States: history and current predicaments*, Lawrence Livermore National Laboratory, 1997.

# WRZENIE OBJĘTOŚCIOWE WODY NA PĘCZKU RUREK W WARUNKACH PODCIŚNIENIA

## POOL BOILING OF WATER ON THE TUBE BUNDLE UNDER SUBATMOSPHERIC PRESSURE CONDITIONS

Dominika Kaczmarek, Tomasz Halon, Bartosz Zajączkowski

Katedra Techniki Ciepłej, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

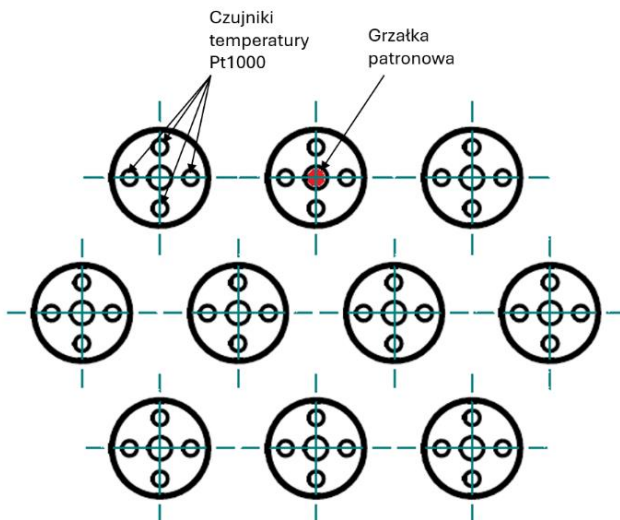
Adres do korespondencji: [dominika.kaczmarek@pwr.edu.pl](mailto:dominika.kaczmarek@pwr.edu.pl)

Wymienniki płaszczowo-rurowe są szeroko stosowane w przemyśle, ponieważ mogą być zaprojektowane specjalnie do określonych wymagań, takich jak wysoka próżnia lub bardzo wysokie ciśnienia, a także do pracy w specjalnych warunkach, takich jak występowanie wibracji, korozja itp. [1] Choć wymienniki płaszczowo-rurowe są szeroko stosowane, zrozumienie wrzenia na wiązce rurek w niskociśnieniowych zalanych parowaczach jest ograniczone [2]. W szerszym ujęciu, zjawisko objętościowego wrzenia wody w warunkach bliskich próżni na powierzchniach płaskich lub rozwiniętych jest słabo zbadane [3–7]. Unikanność tych wymienników ciepła budzi zainteresowanie wśród naukowców, którzy badają między innymi, jak geometria i rozmieszczenie rur wpływają na proces wymiany ciepła oraz dążą do znalezienia warunków, w których działają one najefektywniej. Wynikiem tych badań są przeglądy literaturowe autorstwa Lianga oraz Mudawara [8], Swaina i Dasa [9] oraz Ribatskiego i Thoma [10].

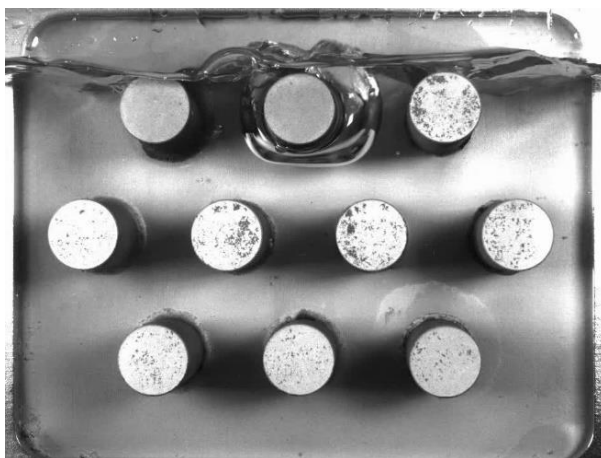
Głównym elementem badanego układu jest zbiornik–parowacz (wymiennik płaszczowo-rurowy), w którym znajduje się wiązka dziesięciu rurek w konfiguracji naprzemiennej. W celu zainicjowania przemiany fazowej (wrzenia objętościowego) użyto umieszczonych w rurkach grzałek patronowych, a rozkład temperatury został odczytany za pomocą czterech czujników temperaturowych znajdujących się w skrajnych punktach każdej rurki oraz zarejestrowany przez system akwizycji danych. Pęcherze zarejestrowano kamerą ultrazwybką. Układ rurek wraz z wyszczególnionymi elementami widnieje na rys. 1.

Głównym celem badania było skupienie się na wpływie ciśnienia hydrostatycznego generowanego przez słup cieczy na powstające pęcherze, mianowicie ich wielkość i kształt. Obserwowany układ pozwolił zbadać wrzenie na jednej rurce (środkowej górnego rzędu – zaznaczona kolorem czerwonym na rys. 1) dla trzech poziomów słupa cieczy – 0, 15 oraz 30 cm. Dodatkowo zaobserwowano również zachowanie pęcherzy w sytuacji, kiedy podgrzewane są dwie rurki (lewa i środkowa górnego rzędu) i ich wzajemne interakcje dla poziomu 0. Poziom 0 oznacza zakrycie wodą górnej krawędzi rurek górnego rzędu. Skupiono się na obserwacji rozkładu temperatur na całej wiązce rurek oraz

obserwowano zmiany temperatury na trzech górnych rurkach. Badany przedział ciśnień obejmuje 5–15 kPa, co odpowiada temperaturom wrzenia od ok. 33°C do ok. 54°C. W ten sposób można zobaczyć, jak wrażliwa na wartość ciśnienia panującego w parowaczu jest wielkość pęcherzy. Zwrócono również uwagę na dynamikę pęcherzy, mianowicie czy po oderwaniu od powierzchni grzałki uniosą się one do lustra wody, czy zapadną się.



Rys. 1. Układ rurek wraz z zaznaczoną rurką podgrzewaną, grzałką patronową oraz czujnikami temperatury Pt1000



Rys. 2. Układ rurek wraz z pęcherzem parowym w kształcie poduszki, powstałym na podgrzewanej rurce dla ciśnienia ok. 6 kPa – obraz z kamery ultrasonyckiej

Pęcherze są zauważalnie większe niż te powstające w ciśnieniu atmosferycznym. Dla dolnego przedziału badanych ciśnień zarejestrowano pęcherze w kształcie poduszki gazowej otaczającej podgrzewaną rurkę, co przedstawiono na rys. 2.

Dodatkowo, dla poziomu 0, zbadano wpływ umiejscowienia grzałki patronowej na dynamikę pęcherzy (rurka środkowa dolnego rzędu). Celem tego działania było sprawdzenie, czy pęcherz będzie ślizgał się po powierzchni górnym rurkę, promując tym samym dodatkowe miejsca nukleacji.

### Źródło finansowania

Publikacja powstała w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki OPUS 22 „Wpływ geometrii wiązki rurek na wymianę ciepła podczas wrzenia objętościowego w warunkach termodynamicznych zbliżonych do punktu potrójnego” – nr rejestracyjny: 2021/43/B/ST8/00882, Kierownik Projektu: dr hab. inż. Bartosz Zajączkowski, prof. uczelni.

## Literatura

- [1] Rohsenow W.M. et al., *Handbook of heat transfer*, McGraw-Hill, 1998.
- [2] Liao L., Liu Z.-H., *Enhanced Boiling Heat Transfer of the Compact Staggered Tube Bundles under Sub-Atmospheric Pressures*, “Heat Transfer Engineering” 2007, Vol. 28, No. 5, pp. 444–450, <https://doi.org/10.1080/01457630601163785>
- [3] Schnabel L., Scherr Ch., *Water as refrigerant – experimental evaluation of boiling characteristics at low temperatures and pressures*, Int. Semin. Heat Pipes, Heat Pumps, Refrig. Power Sources, Minsk, Belarus, 2008.
- [4] Giraud, F. et al., *Experimental evidence of a new regime for boiling of water at subatmospheric pressure*, “Experimental Thermal and Fluid Science” 2015, Vol. 60, pp. 45–53, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2014.07.011>
- [5] Michaie S. et al., *Experimental study of bubble dynamics of isolated bubbles in water pool boiling at subatmospheric pressures*, “Experimental Thermal and Fluid Science” 2017, Vol. 87, pp. 117–128, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2017.04.030>
- [6] McNeil D.A. et al., *Shell-side boiling of a glycerol-water mixture at low sub-atmospheric pressures*, “Applied Thermal Engineering” 2017, Vol 115, pp. 1438–1450, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.169>
- [7] Huang, G. et al., *Enhanced pool boiling heat transfer by metallic nanoporous surfaces under low pressure*, “International Journal of Heat and Mass Transfer” 2022, Vol. 184, 122382, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.122382>
- [8] Liang G., Mudawar I., *Review of pool boiling enhancement by surface modification*, “International Journal of Heat and Mass Transfer” 2019, Vol. 128, pp. 892–933, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.09.026>
- [9] Swain A., Das M.K., *A review on saturated boiling of liquids on tube bundles*, “Heat and Mass Transfer” 2014, Vol. 50, No. 5, pp. 617–637, <https://doi.org/10.1007/s00231-013-1257-1>
- [10] Ribatski G., Thome J.R., *Two-Phase Flow and Heat Transfer across Horizontal Tube Bundles – A Review*, “Heat Transfer Engineering” 2007, Vol. 28, No. 6, pp. 508–524, <https://doi.org/10.1080/01457630701193898>





# BADANIA EKSPERYMENTALNE PROFILU PRĘDKOŚCI W KANALE KWADRATOWYM PRZY WYKORZYSTANIU TECHNIKI PIV

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF VELOCITY PROFILE IN A SQUARE CHANNEL USING PIV MEASUREMENT METHOD

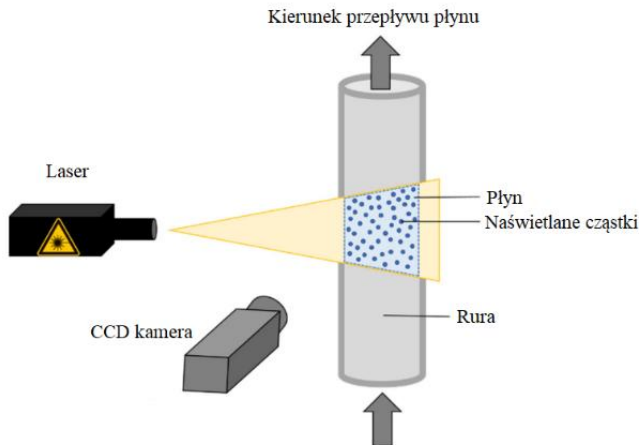
Kamil Kowalski<sup>1</sup>, Weronika Janowicz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

<sup>2</sup>Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [kamil.kowalski@pwr.edu.pl](mailto:kamil.kowalski@pwr.edu.pl)

Anemometria obrazowa (ang. Particle Image Velocimetry, PIV) jest nieinwazyjną techniką wizualizacji i pomiaru prędkości przepływu, która przedstawia pola prędkości i charakterystykę przepływu płynu [1]. Elektronicznymi komponentami wchodzącymi w skład techniki PIV są: kamera CCD, obiektyw, laser, synchronizator oraz komputer. Aby umożliwić pomiary, należy dodatkowo wprowadzić do badanego płynu mikrocząstki o gęstości takiej samej jak płynu. Dzięki spełnieniu tego warunku zakłada się, że prędkość ruchu cząstek jest taka sama jak prędkość otaczającego je medium.



Rys. 1. Schemat metody PIV [2]



W trakcie pomiarów wiązka lasera pada na przepływające cząstki w płynie, gdzie jest częściowo odbijana. W tym czasie kamera wykonuje serię zdjęć, na podstawie których obliczana jest prędkość przepływu. Obiektyw kamery służy do regulacji ostrości obrazu kamery, natomiast synchronizator koordynuje pracę lasera i kamery tak, żeby nie było żadnych opóźnień mogących wprowadzać nieprawidłowości do obliczeń. Schemat metody PIV przedstawiony został na rys. 1.

W prowadzonych badaniach, technika PIV wykorzystywana jest do pomiaru profilu prędkości przepływu w kanale kwadratowym o wymiarach  $32 \times 32$  mm. Docelowym przeznaczeniem zbudowanego stanowiska jest zbadanie wpływu wielkości szczeliny w kanale na powstawanie struktur wirowych oraz wpływ zmiany temperatury przepływającej cieczy na profil prędkości przepływu. Obecnie wykonane zostały badania wstępne profilu prędkości przy pomocy PIV dla przepływu przez kanał o stałym przekroju poprzecznym, dla których przeprowadzono walidację modelu numerycznego.

W pracy zostanie przedstawiona budowa stanowiska badawczego, ze zwróceniem szczególnej uwagi na sekcję pomiarową oraz wykorzystaną dyszę Witoszyńskiego. Omówiona zostanie metoda pomiarowa PIV wraz z przedstawieniem procedury pomiarowej i kalibracją układu. Ponadto zaprezentowany zostanie model numeryczny, który został zweryfikowany przy użyciu danych eksperymentalnych i uwzględnia rzeczywiste warunki pomiaru.

## Literatura

- [1] Rohacs D. et al, *Past and current components-based detailing of particle image velocimetry: A comprehensive review*, “Heliyon” 2023, Vol. 9, No. 3, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14404>
- [2] Winkler C.M. et al, *A Review on Novel Channel Materials for Particle Image Velocimetry Measurements – Usability of Hydrogels in Cardiovascular Applications*, “Gels” 2022, Vol. 8, 502, <https://doi.org/10.3390/gels8080502>

# ROLA KLASTRÓW ENERGII W REALIZACJI CELÓW POLITYKI KLIMATYCZNEJ

## THE ROLE OF ENERGY CLUSTERS IN THE ACHIEVEMENT OF CLIMATE CHANGE POLICY OBJECTIVES

Kacper Kucner

Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [256416@student.pwr.edu.pl](mailto:256416@student.pwr.edu.pl)

Postępujące zmiany klimatyczne wymuszają zmiany w wielu sektorach przemysłowych, jednym z nich jest energetyka. Dwoma ważnymi jej elementami w kontekście ochrony klimatu są ograniczenie produkcji energii z paliw kopalnych oraz wprowadzanie większej ilości odnawialnych źródeł energii (OZE). W realizacji obu celów rozwiązaniem m.in. na poziomie organizacyjnym i infrastrukturalnym mogą okazać się klastry energii.

Zasadniczą ideą klastrów jest wykorzystanie lokalnych zasobów oraz angażowanie małych przedsiębiorców i społeczności lokalnych [1]. Dzięki temu produkowana energia wykorzystywana jest „na miejscu”. Pozwala to na oszczędności w zakresie kosztów dystrybucji energii oraz potrzebnej do tego infrastruktury, a także obniżenie kosztów wdrażania nowych, innowacyjnych rozwiązań w zakresie OZE. Jest to szczególnie ważne w kontekście osiągania tzw. celów klimatycznych ustalanych dla państw członkowskich Unii Europejskiej, które zakładają obniżenie emisji gazów cieplarnianych o minimum 55% względem roku 1990, zwiększenie udziału OZE w produkcji energii do 42,5% oraz poprawę efektywności energetycznej [2].

Tworzenie sieci klastrów energii można uznać za istotne w kontekście zapewnienia krajowego bezpieczeństwa energetycznego, w procesie decentralizacji produkcji energii. Po pierwsze, tego typu rozwiązanie może wpływać na poprawę bezpieczeństwa w dostawach energii – skutki ewentualnych awarii nie są aż tak paraliżujące dla niezależnych podmiotów, jak w przypadku awarii dużego zakładu energetycznego. Po drugie, funkcjonowanie krajowej sieci klastrów energetycznych może wpłynąć na zapewnienie niezależności energetycznej względem innych krajów, poprzez wykorzystanie OZE oraz brak zależności od dostaw paliw z zagranicy.

Rozwój sieci klastrów energii wpływa i stymuluje również rozwój przedsiębiorstw. Poprzez współpracę i koordynację między podmiotami zapewniają producentom energii jej odbiorców i na odwrót. Zarządzanie rynkiem produkcji i dystrybucji energii na poziomie lokalnym pozwala na oszacowanie właściwej jej ilości, niezbędnej zdefiniowanym jej odbiorcom. Funkcjonowanie sieci klastrów energii pozwala również na tworzenie atrakcyjnych miejsc dla przyszłych inwestorów, zapewniając zasoby,



część infrastruktury oraz pewne zaplecze technologiczne. Powstawanie i rozwój sieci klastrów pozwala także na rozwój dialogu społecznego i podejmowanie decyzji z udziałem mieszkańców w zakresie kształtowania gospodarki energetycznej w ich regionie z uwzględnieniem możliwości rozwoju oraz zapewniania odpowiedniej ilości miejsc pracy.

W publikacji zostanie dokonany przegląd funkcjonujących na rynku polskim porozumień interesariuszy tworzących klastry energii wraz z analizą zastosowanych w nich rozwiązań technologicznych. Studium przypadku zostanie przeprowadzone dla rozwiązań zastosowanych w: Energetycznym Klastrze Oławskim EKO, Klastrze Zgorzelec, Słupsk i Klastrze Zbiornika Czorszyńskiego.

## Literatura

- [1] *Koncepcja Funkcjonowania klastrów energii w Polsce*, 2017 ([https://wise-europa.eu/wp-content/uploads/2017/03/Koncepcja\\_funkcjonowania\\_klastrow\\_energii\\_PL\\_2017.pdf](https://wise-europa.eu/wp-content/uploads/2017/03/Koncepcja_funkcjonowania_klastrow_energii_PL_2017.pdf)), opracowanie wykonane na zlecenie Ministerstwa Energii [data dostępu: 20.05.2024].
- [2] Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu*, projekt z 29.02.2024, <https://www.gov.pl/web/klimat/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu> [data dostępu: 20.05.2024].
- [3] <https://promet-plast.pl> [data dostępu: 20.05.2024].
- [4] Jeżewski A., *Plan rozwoju energetyki rozproszonej na przykładzie Energetycznego Klastru Oławskiego EKO*, 20.11.2019.

# EWOLUCJA ŚMIGIEŁ W LOTNICTWIE

## PROPELLERS' EVOLUTION IN AVIATION

Michał Lepszy

Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [michal.lepszy@pwr.edu.pl](mailto:michal.lepszy@pwr.edu.pl)

Rozwój śmigieł w lotnictwie to historia ciągłego postępu technologicznego. Od prostych drewnianych konstrukcji braci Wright, przez metalowe i zmiennoskokowe śmigła z okresu II wojny światowej, aż po nowoczesne kompozytowe i adaptacyjne technologie, śmigła lotnicze przeszły długą drogę rozwoju. Każdy etap w tej ewolucji przyczynił się do poprawy wydajności, trwałości i komfortu lotu, a najnowsze innowacje, takie jak śmigła toroidalne i adaptacyjne, obiecują dalsze udoskonalenia w przyszłości.



Rys. 1. Śmigła braci Wright zainstalowane na „Wright Flyer” w 1908 r. [1]

Za prekursorów śmigieł uznać można śruby wymuszające ruch płynu za pomocą momentu obrotowego (np. śruba Archimedesza 200 r. p.n.e). Jednak początek współczesnych śmigieł lotniczych datuje się na 1903 rok, kiedy bracia Wright skonstruowali pierwszy samolot z napędem śmigłowym. Ich śmigła były wykonane z drewna i miały stały kąt natarcia łopatek. Te pierwsze konstrukcje były proste i ręcznie rzeźbione, wykorzystując drewno takie jak jesion czy orzech. Pomimo ograniczonej trwałości i efektywności, stanowiły one fundament dla dalszego rozwoju technologii śmigieł. W tym okresie podstawowa aerodynamika zaczęła być lepiej rozumiana, co pozwoliło na bardziej efektywne projektowanie kształtu łopatek.

W latach 30. XX wieku zaczęły pojawiać się śmigła zmiennoskokowe, które umożliwiały regulację kąta natarcia łopat w trakcie lotu. To innowacyjne rozwiązanie znacząco poprawiło efektywność śmigieł przy różnych prędkościach i warunkach lotu. Równocześnie drewno zaczęło być zastępowane metalami, głównie aluminium, co zwiększyło trwałość i wydajność śmigieł. II wojna światowa przyspieszyła rozwój technologii lotniczych, w tym śmigieł. Pojawiły się bardziej zaawansowane projekty, takie jak śmigła przeciwbieżne, które znalazły zastosowanie w myśliwcach i bombowcach, oferując lepszą kontrolę i zwiększoną moc.

Po wojnie rozwój technologii śmigieł odbywał się w szybkim tempie. Lata 50. i 60. XX wieku przyniosły eksperymenty z kompozytami, co prowadziło do powstania lżejszych i bardziej wytrzymałych łopat. Był to istotny krok w kierunku nowoczesnych napędów lotniczych, łączący niskie zużycie paliwa z wysoką wydajnością. Współczesne śmigła są często wykonane z zaawansowanych kompozytów węglowych, które są lżejsze i bardziej wytrzymałe niż tradycyjne materiały.

Nowoczesne projekty śmigieł są wynikiem zaawansowanych analiz komputerowych, które optymalizują kształt łopat pod kątem maksymalnej wydajności i minimalnego hałasu. Śmigła napędzane silnikami elektrycznymi zyskały na znaczeniu wraz z rozwojem dronów i pojazdów elektrycznych, oferując unikalne konstrukcje dostosowane do specyficznych wymagań. Badania śmigieł toroidalnych, które charakteryzują się łopatami o kształcie pierścieniowym, obiecują dalszą redukcję hałasu i poprawę efektywności aerodynamicznej.



Rys. 2. Trójpętłowe śmigło toroidalne [2]

## Literatura

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Wright\\_Model\\_A](https://en.wikipedia.org/wiki/Wright_Model_A)
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Toroidal\\_propeller](https://en.wikipedia.org/wiki/Toroidal_propeller)
- [3] [www.wright-brothers.org/Information\\_Desk/Just\\_the\\_Facts/Engines\\_&\\_Props/1903\\_Props.htm](http://www.wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Engines_&_Props/1903_Props.htm)
- [4] <https://newatlas.com/aircraft/toroidal-quiet-propellers/>
- [5] <https://hartzellprop.com/a-short-history-of-the-aircraft-propeller/>

# STAŁE NOŚNIKI TLENU O STRUKTURZE SPINELU DO ZASTOSOWANIA W PROCESIE SPALANIA BIOMASY

## SPINEL-BASED OXYGEN CARRIERS FOR APPLICATION IN BIOMASS COMBUSTION PROCESS

Rafał Łysowski, Ewelina Ksepko

Katedra Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [rafal.lysowski@pwr.edu.pl](mailto:rafal.lysowski@pwr.edu.pl)

Biomasa jest uznawana za jedno z odnawialnych źródeł energii. Co więcej, przy zastosowaniu odpowiednich technik spalania sprzężonych z technologią wychwytu ditlenku węgla, spalając biomasę możliwe jest uzyskanie ujemnego bilansu netto emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery. Jedną z takich technologii jest technologia spalania w chemicznej pętli tlenkowej (ang. *Chemical Looping Combustion* – CLC). Technologia CLC jest metodą bezplomieniowego spalania paliw, w której cały tlen potrzebny do procesu spalania jest dostarczany przez substancję zwaną stałym nośnikiem tlenu. W związku z czym paliwo nie ma kontaktu z powietrzem atmosferycznym, a strumień spalin składa się głównie z ditlenku węgla i pary wodnej, co znacznie ułatwia proces wychwytu CO<sub>2</sub>. Biomasa jest paliwem dość kłopotliwym, ze względu na dużą zawartość alkalicznych tlenków metali oraz krzemionki w popiele, przez co stały nośnik tlenu jako kluczowy element procesu CLC powinien być dostosowany do rodzaju paliwa, w procesie spalania którego będzie uczestniczył [1].

W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki badań nad przydatnością stałych nośników tlenu o strukturze spinelu do procesu spalania biomasy. Badania przeprowadzono za pomocą analizatora termogravimetrycznego sprzężonego z kwadrupolowym spektrometrem masowym. Dodatkowo, za pomocą technik dyfraktometrii rentgenowskiej, zbadano zmiany w składzie fazowym stałego nośnika tlenu po reakcji z biomasą.

### Źródło finansowania

Praca została sfinansowana w ramach projektu NCN nr 2020/37/B/ST5/01259.

### Literatura

- [1] Łysowski R., Ksepko E., *Cu<sub>2</sub>Mg<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-type spinels as potential oxygen carriers for waste wooden biomass combustion*, “Waste Manag.” 2024, Vol. 175, pp. 146–156.





# SYSTEMY EKSPLOATACYJNE WE WSPÓŁCZESNYCH ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH

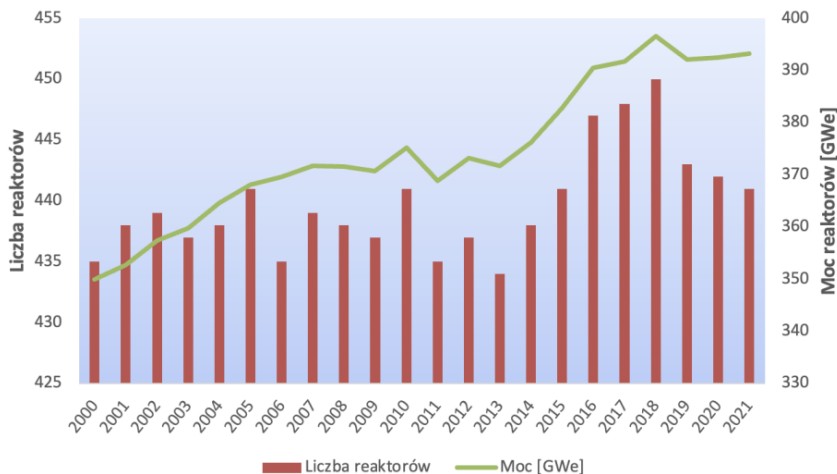
## OPERATING SYSTEMS IN MODERN NUCLEAR POWER PLANTS

Adam Molczan, Magdalena Laskowska

Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

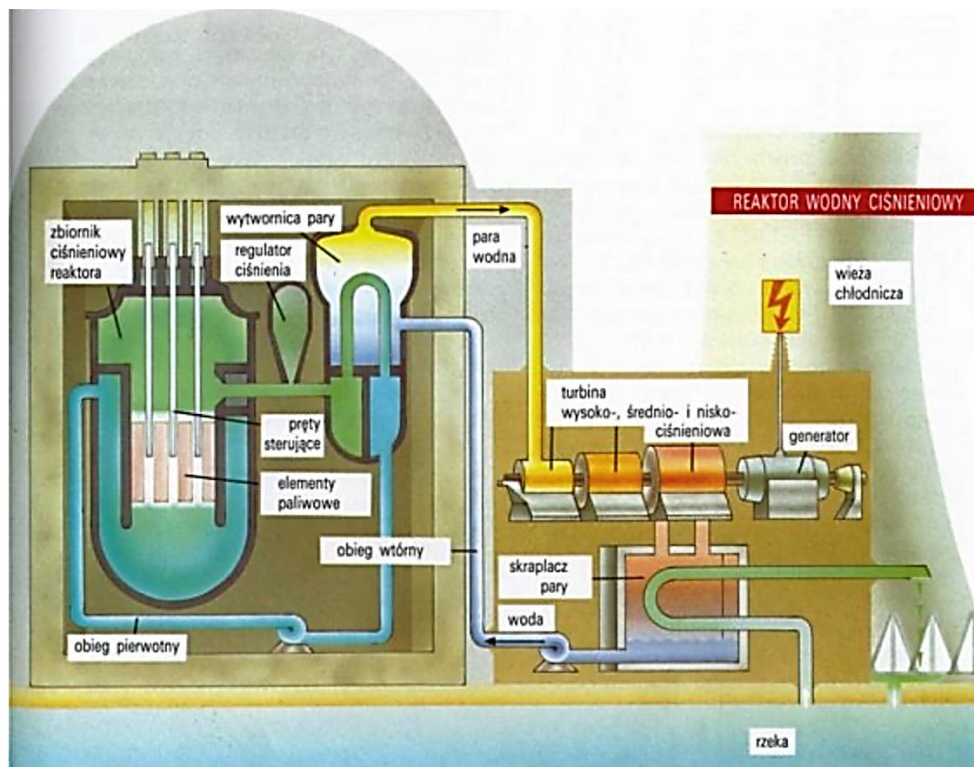
Adres do korespondencji: [254890@student.pwr.edu.pl](mailto:254890@student.pwr.edu.pl)

W związku z rosnącymi potrzebami energetycznymi na świecie wzrasta zainteresowanie nowymi źródłami wytwarzania energii elektrycznej. Energetyka jądrowa mimo budzenia kontrowersji zyskuje coraz większe uznanie, co związane jest z chęcią zwalczania problemów klimatycznych poprzez konieczność ograniczenia emisji gazów cieplarnianych oraz dążenia do samowystarczalności energetycznej państw. Zastosowanie tej technologii wiąże się z wieloma trudnościami ekonomicznymi, technicznymi, a także społecznymi, jednak mimo to wiele krajów decyduje się na wprowadzenie reaktorów jądrowych do swoich zasobów energetycznych. To samo dotyczy Polski, która zaplanowała inwestycję w energetykę jądrową i do roku 2040 uruchomić ma swój pierwszy blok jądrowy [1].



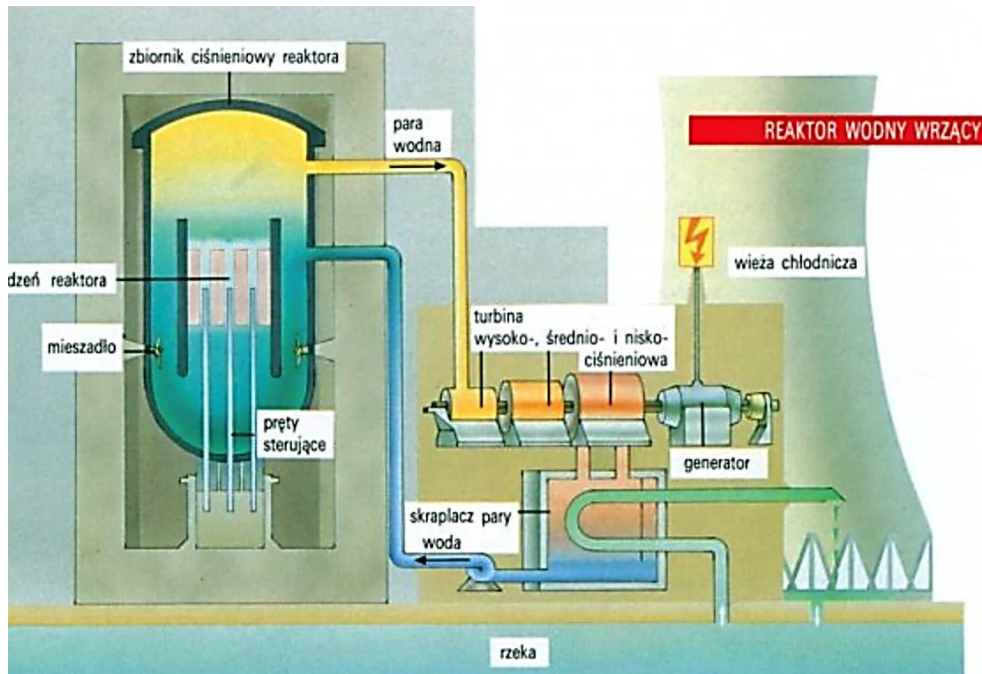
Rys. 1. Liczba reaktorów jądrowych oraz zmiana zainstalowanej mocy w skali czasu [2]

Dotychczas opracowane rozwiązania pozwoliły na wprowadzenie do obiegu komercyjnego reaktorów II generacji i to one stanowią główne źródło wytwarzania energii elektrycznej z energetyki jądrowej na świecie. Najpowszechniejsze z nich to reaktory lekkowodne PWR (ang. *Pressurized Water Reactor*) stanowiące 69% wszystkich reaktorów [1]. Reaktor ten składa się z dwóch obiegów. W obiegu pierwotnym znajdują się elementy paliwowe, w których dochodzi do reakcji rozszczepienia, której efektem ubocznym jest wytwarzanie ciepła przekazanego do lekkiej wody. Istotne jest utrzymanie wysokiego ciśnienia czynnika w tym obiegu, aby zapobiec możliwości zajścia jego wrzenia. Ciepło wytworzone w obiegu pierwotnym zostaje przekazane przez wymiennik ciepła do obiegu wtórnego, gdzie pod wpływem wysokiej temperatury wytwarza się para, która napędza turbinę [3].



Rys. 2. Schemat reaktora PWR [3]

Drugim najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest reaktor BWR (ang. *Boiling Water Reactor*) stanowiący 14% zainstalowanej mocy z elektrowni jądrowych [1]. W odróżnieniu do reaktora PWR w tym rozwiązaniu występuje tylko jeden obieg, a para napędzająca turbinę wytwarzana jest bezpośrednio w zbiorniku ciśnieniowym reaktora [4].



Rys. 3. Schemat reaktora BWR [4]

Wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na energię elektryczną powstawała potrzeba rozwijania technologii, więc opracowywano nowe rozwiązania, co przyczyniło się do powstania III generacji reaktorów jądrowych będących udoskonaleniem reaktorów poprzedniej generacji. Reaktory te są tańsze, mają wyższy współczynnik bezpieczeństwa, dłuższą żywotność, prostszą konstrukcję oraz lepszy stopień zużycia paliwa. W ich skład wchodzi nowoczesne reaktory EPR (ang. *European Power Reactor*), ESBWR (ang. *Economic Simplified Boiling Water Reactor*), unowocześniony ABWR, AP600, AP1000, BWR90, System80+, WWER640 i 1000 oraz CANDU6 i 9 [5].

Coraz większa chęć obniżenia kosztów, wzrostu bezpieczeństwa oraz wydajności determinuje do badań nad innowacyjnymi rozwiązaniami, do których zaliczyć można reaktory IV generacji. Są to reaktory przyszłości, które wykorzystywać mają nowe technologie. Do tej generacji zaliczyć można reaktory typu GFR (ang. *Gas Cooled Fast Reactor*), VHTR (ang. *Very High Temperature Reactor*), SCWR (ang. *Supercritical Water Cooled Reactor*), SFR (ang. *Sodium Cooled Fast Reactor*), LFR (ang. *Lead Cooled Fast Reactor*) oraz MSR (ang. *Molten Salt Reactor*) [6]. Warto wspomnieć również o małych reaktorach modułowych SMR, które w odróżnieniu od wszystkich technologii wyróżniają się mniejszą mocą z zakresu od 300–500 MW, o połowę krótszym czasem budowy oraz zmniejszonym kosztem konstrukcji względem tradycyjnych reaktorów jądrowych [7]. W przyszłości Polska planuje wdrożyć SMR do swojego systemu elektroenergetycznego jako uzupełnienie wytwarzanej energii z wielkoskalowych bloków jądrowych.

## Literatura

- [1] <https://www.gov.pl/web/polski-atom/uchwala-w-sprawie-polityki-energetycznej-polski-do-2040-r>
- [2] Departament Energii Jądrowej Ministerstwa Klimatu i Środowiska, *Energetyka jądrowa na świecie*, 2021.
- [3] <https://nuclear.pl/energetyka,pwr,0,0,0.html>
- [4] <https://nuclear.pl/energetyka,bwr,0,0,0.html#:~:text=W%20reaktorach%20BWR%20zwykla%20woda,BWR%20pracuje%20w%20ukladzie%20jednoobiegowym>
- [5] Celiński Z., *Przewidywany rozwój energetyki jądrowej. Generacje reaktorów energetycznych. Część II*, „Energetyka” 2004.
- [6] <https://nuclear.pl/energetyka,genIV,reaktory-iv-generacji,0,0.html>
- [7] Rajewski A., *Małe reaktory modułowe – czy są szansą dla Polski*, „Nowa Energia” 2021.

# BADANIA POMPY WIROWEJ O NISKIM WYRÓŻNIKU SZYBKOBIEŻNOŚCI ZE SZCZELINĄ W ŁOPATKACH WIRNIKA

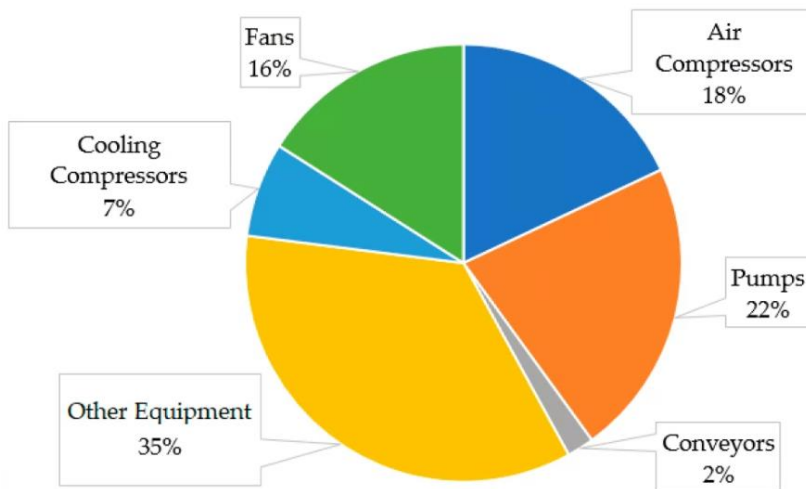
## RESEARCH ON A LOW SPECIFIC SPEED CENTRIFUGAL PUMP WITH GAP DRAINAGE IN THE IMPELLER BLADES

Aneta Nycz, Janusz Skrzypacz, Przemysław Szulc

Katedra Inżynierii Konwersji Energii, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [aneta.nycz@pwr.edu.pl](mailto:aneta.nycz@pwr.edu.pl)

Pompy to największa grupa maszyn wykorzystywanych w przemyśle, ustępująca jedynie silnikom elektrycznym pod względem zastosowań. W Europie pompy zużywają około 22% energii elektrycznej (rys. 1). W Polsce zużycie energii przez pompy szacuje się na 32 TWh rocznie, co stanowi 20% rocznej produkcji. Z tego powodu istotną kwestią jest zmniejszenie zużycia energii w procesach pompowania, np. poprzez odpowiedni dobór nowych pomp wraz z ich regulacją lub usprawnienie istniejących jednostek. W obu przypadkach kluczowe jest dopasowanie charakterystyk pomp do różnych wymagań układu, a tym samym do różnych punktów pracy.



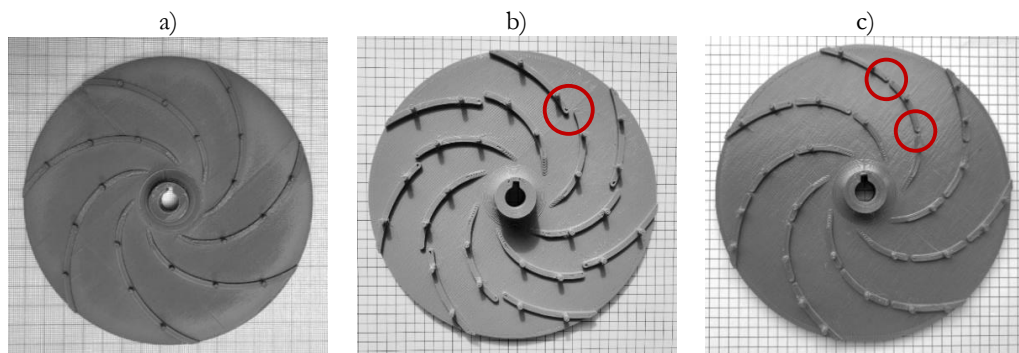
Rys. 1. Zużycie energii przez maszyny energetyczne [1]

Wśród pomp wirowych najczęściej stosowanym typem są pompy krętne odśrodkowe, zaprojektowane dla wydajności większych niż  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  i wyróżników szybkobieżności powyżej 15 ( $n_q > 15$ ). Projektowanie pomp o niskich wyróżnikach szybkobieżności, z akceptowalnym poziomem sprawności, jest wyzwaniem wskutek spadku sprawności, wynikającego ze zwiększania się strat tarcia tarcz wirujących i wolumetrycznych [2,3].

W instalacjach wymagających dużych wysokości podnoszenia przy niskich wydajnościach, stosuje się wielostopniowe pompy odśrodkowe, pompy krążeniowe lub wyporowe. Jednakże niektóre rodzaje pomp, np. zębate lub krążeniowe, nie nadają się do transportu cieczy zawierających cząsteczki ściernie, co może wykluczyć je z pewnych zastosowań. Dlatego istotne jest podejmowanie działań mających na celu zwiększanie sprawności pomp wirowych o niskich wyróżnikach szybkobieżności, uwzględniając normy dotyczące wskaźnika energochłonności (EEL) i wskaźnika minimalnej energochłonności (MEI) [3] oraz inicjatywy związane z efektywnością energetyczną, podejmowane przez instytucje europejskie.

Analiza literaturowa wskazuje, że wydajność pomp odśrodkowych o bardzo niskim wyróżniku szybkości ( $n_q < 15$ ) można potencjalnie poprawić poprzez wprowadzenie szczeliny w łopatkach wirnika [4–6].

Celem badań była weryfikacja wpływu szczelin w łopatkach wirnika na charakterystykę energetyczną jednostopniowej, wolnobieżnej pompy odśrodkowej. Na potrzeby eksperymentu zaprojektowano wirnik bazowy o niskim wyróżniku szybkobieżności ( $n_q \sim 13$ ) i jego modyfikacje związane ze zmianą geometrii położenia szczeliny (np. wzdłuż długości łopatki, po stronie biernej i czynnej łopatki) – rys. 2.



Rys. 2. Wirnik: a) bazowy, b) z pojedynczą szczeliną, c) z podwójną szczeliną

Przeprowadzono badania porównawcze poprzez wyznaczenie charakterystyk energetycznych wirnika bazowego (wirnika bez łopatki dzielonej) oraz wirników zmodyfikowanych. Interpretacja uzyskanych charakterystyk  $\eta = f(Q)$  pozwala stwierdzić, że zastosowanie szczelin w analizowanych przypadkach ma pozytywny wpływ na zwiększenie sprawności badanej pompy.

## Literatura

- [1] Goman V. et al., *Efficiency Analysis of Fixed-Speed Pump Drives with Various Types of Motors*, “Applied Sciences” 2019, Vol. 9, No. 24, 5295, doi: 10.3390/app9245295.
- [2] Gulich J.F., *Centrifugal pumps*, Springer Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg 2008.
- [3] Jędrał W., *Pompy wirowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
- [4] Wei Y et al., *Influence of Impeller Gap Drainage Width on the Performance of Low Specific Speed Centrifugal Pump*, “Journal of Marine Science and Engineering” 2021.
- [5] Chen H. et al., *Impellers of low specific speed centrifugal pump based on the draughting technology*, “Earth and Environmental Science” 2010, Vol. 12.
- [6] Chen H. et al., *Design and experiment of the centrifugal pump impellers with twisted inlet vice blades*, “Journal of Hydrodynamics, Ser. B” 2017, Vol. 29, No. 6, pp. 1085–1088.
- [7] Neuman B., *The interaction between Geometry and Performance of a Centrifugal Pump*, Mechanical Engineering Publications Limited, London 1991.





# PRZYSTOSOWANIE ŚRODOWISKA VR DO POTRZEB OSÓB Z DYSFUNKCJĄ WZROKU

## ADAPTING VR ENVIRONMENTS FOR PEOPLE WITH VISUAL DYSFUNCTION

Jagoda Piluch<sup>1</sup>, Adrianna Kaim<sup>2</sup>, Dariusz Rutkowski<sup>3</sup>, Weronika Jachola-Łaski

<sup>1</sup>Uniwersytet Dolnośląski DSW

<sup>2</sup>Akademia Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu

<sup>3</sup>Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [jagodapiluch@gmail.com](mailto:jagodapiluch@gmail.com)

W niniejszym artykule zostały zaprezentowane wyniki przeprowadzonych badań, które pozwoliły zweryfikować, jak zaimplementowane elementy wpływają na dostępność wirtualnej rzeczywistości (VR) dla osób z dysfunkcjami wzroku. Całość skonfrontowano z ogólnodostępną literaturą [1–23].

Do badań zrealizowano dwa wirtualne środowiska, w których – jedno środowisko uwzględniło potrzeby osób z dysfunkcją wzroku, drugie natomiast nie uwzględniło. W pierwszym etapie zrealizowano badania pilotażowe, gdzie brały udział 2 osoby z dysfunkcjami wzroku (krótkowzroczność oraz amblyopia) w przedziale wiekowym 25–30 lat. Za pomocą pogłębionego wywiadu otrzymano informacje, jakie elementy składowe należy zmienić w wirtualnych środowiskach. Następnie w badaniach właściwych brało udział 9 osób w przedziale wiekowym 20–26 lat bez wady wzroku oraz z prawidłowym polem widzenia oraz 8 osób w wieku od 18 do 23 lat z dysfunkcjami wzroku. Wyniki badań wykazały, że elementy zwiększające dostępność nie zakłócały korzystania ze środowiska osobom bez dysfunkcji wzroku. Pokazano także, w jaki sposób elementy, które zaimplementowano do środowiska VR, podnosiły dostępność z korzystania wskazanej technologii. Z analizy wyników wyszło, że kluczowym udogodnieniem wpływającym na dostępność VR dla osób z dysfunkcjami wzroku była możliwość zmiany wielkości liter.

### Źródło finansowania

Publikacja powstała w ramach programu Studenckie Koła Naukowe tworzą innowacje, na podstawie umowy nr SKN/SN/535092/2022 z dnia 04.04.2022 (kwota dofinansowania: 26 800,00 zł).

### Literatura

- [1] Ambroży N., Serafin J., *Rzeczywiste zastosowanie wirtualnego świata: metaanaliza badań na temat wirtualnej rzeczywistości*, „Kultura Bezpieczeństwa Nauka – Praktyka – Refleksje” 2016, Vol. 22.

- [2] Artidi A., *Kontrast barwny a słabowzroczność*, „Dostosowanie środowiska fizycznego do potrzeb osób niewidomych i słabowidzących. Materiały tyflogiczne” 2001, Vol. 11.
- [3] Bartkowska J., *Optyka i korekcja wad wzroku*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 1996.
- [4] Biener V. et al., *Quantifying the effects of working in VR for one week*, “IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics” 2022, pp. 1–11, <https://doi.org/10.1109/tvcg.2022.3203103>
- [5] Corn A.L., *Model funkcjonowania wzrokowego słabowidzących*, „Założenia i metody rehabilitacji wzroku u słabowidzących, Materiały Tyflogiczne” 1991, Vol. 7.
- [6] Główny Urząd Statystyczny, *Stan zdrowia ludności Polski w 2019 r.*, 2021.
- [7] <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/zdrowie/zdrowie/stan-zdrowia-ludnosci-polski-w-2019-r-6,7.html>
- [8] Hummel A., *Posługiwanie się wzrokiem przez dzieci słabo widzące*, „Poradnik dydaktyczny dla nauczycieli realizujących podstawę programową w zakresie szkoły podstawowej i gimnazjum z uczniami niewidomymi i słabo widzącymi” 2001, MEN, s. 35–50.
- [9] *Konwencja ONZ o prawach osób niepełnosprawnych z 13. grudnia 2006 r.*, 2012.
- [10] Majdanik D. et al., *Natural interfaces in VR - comparative analysis*, “Journal of Computer Sciences Institute” 2021, Vol. 18, pp. 1–6, <https://doi.org/10.35784/jcsi.2385>
- [11] WHO, *Międzynarodowa Klasyfikacja Funkcjonowania, Niepełnosprawności i Zdrowia ICF*, 2001.
- [12] WHO, *Międzynarodowa Statystyczna Klasyfikacja Chorób i Problemów Zdrowotnych ICD-10*, 2008.
- [13] Moro C. et al., *Virtual and augmented reality enhancements to medical and science student physiology and anatomy test performance: A systematic review and meta-analysis*, “Anatomical Sciences Education” 2020, <https://doi.org/10.1002/ase.2049>
- [14] Niżankowska M.H., *Podstawy okulistyki. Podręcznik dla lekarzy i studentów medycyny*, Volumed, 1992.
- [15] Optopol Technology Sp. z o.o., *Perymetr automatyczny PTS 920* (<https://optopol.com.pl/produkt/pts-920/>).
- [16] *Urządzenie Remmedr do domowej terapii wzroku* (<https://remmed.vision/projekt>).
- [17] Shibata T., *Head mounted display*, “Displays” 2002, Vol. 23, No. 1–2, pp. 57–64, [https://doi.org/10.1016/s0141-9382\(02\)00010-0](https://doi.org/10.1016/s0141-9382(02)00010-0)
- [18] Styszyński A., *Korekcja wad wzroku – procedury badania refrakcji*, *alpha-medica press*, 2007.
- [19] *Ustawa z dnia 15 czerwca 2012 r. o ratyfikacji Konwencji o prawach osób niepełnosprawnych* (Dz. U. 2012, poz. 882), 2012.
- [20] *Ustawa z dnia 19. lipca 2019 r. o zapewnianiu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami* (tekst jedn., Dz. U. 2022, poz. 2240), 2022.
- [21] *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*, <https://www.w3.org/Translations/WCAG21-pl/>, 2018.
- [22] *Worldwide Spending on Augmented and Virtual Reality Forecast to Reach \$13.9 Billion in 2017*, According to IDC, <https://www.businesswire.com/news/home/20170227005097/en/Worldwide-Spending-on-Augmented-and-Virtual-Reality-Forecast-to-Rreach-13.9-Billion-in-2017-According-to-IDC>.
- [23] Zajac M., *Optyka Okularowa*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2003.

# MAGAZYNOWANIE ENERGII Z INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ A GODZINOWE CENY ENERGII

## STORAGE OF ENERGY FROM A PHOTOVOLTAIC INSTALLATION AND HOURLY ENERGY PRICES

Jakub Polański, Marcin Michalski

Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

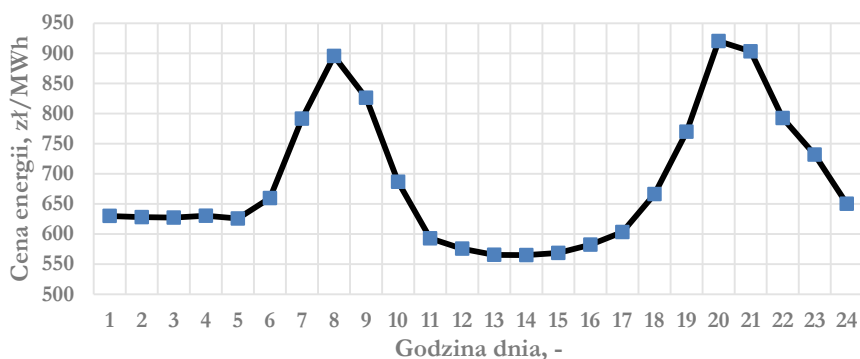
Adresy do korespondencji: [jakubpolanski1993@gmail.com](mailto:jakubpolanski1993@gmail.com), [marcin.michalski@pwr.edu.pl](mailto:marcin.michalski@pwr.edu.pl)

W pracy zweryfikowano korzyści finansowe wynikające ze sprzedaży energii elektrycznej generowanej przez system fotowoltaiczny (PV). Jest to związane z ogromnym przyrostem liczby instalacji PV montowanych w ostatnich latach w Polsce, co jest na bieżąco monitorowane w raportach Instytutu Energetyki Odnawialnej [1]. Został on zrealizowany jako układ hybrydowy, co oznacza, że w jego skład poza tradycyjnymi elementami, jak moduły fotowoltaiczne i falownik, wszedł również system magazynowania energii. Zastosowany akumulator wykonano w technologii litowo-jonowej. Jest to obecnie najczęściej spotykane rozwiązanie w zakresie przechowywania energii w branży odnawialnych źródeł energii (OZE). Celem pracy było porównanie zysków, jakie przyniesie tradycyjna instalacja PV (bez magazynu energii) oraz hybrydowa instalacja PV.

Korzyści finansowe rozpatrzono w oparciu o nową wersję obowiązującej taryfy net-billing, która na podstawie ustawy o odnawialnych źródłach energii zostanie wprowadzona 1.07.2024 roku [2]. Wówczas rozliczenie energii oddanej do sieci przez właścicieli mikroinstalacji (instalacja o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 50 kW) będzie odbywać się co godzinę [3]. Taryfa net-billing funkcjonuje w obecnym kształcie od 2022 roku i pozwala jedynie na rozliczenia na podstawie uśrednionej ceny miesięcznej, bez podziału na godziny. Przez cały miesiąc obowiązuje jedna stawka, co przekłada się na brak korzyści wynikających z przesunięcia czasu sprzedaży. Analizę oparto na przykładzie uzysków generowanych w 2023 roku przez hybrydową instalację PV o mocy 5 kWp, która współpracuje z optymalizatorami mocy oraz akumulatorem litowo-jonowym o pojemności 15 kWh. System badawczy działa w Laboratorium Energii Odnawialnej na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej.

Kluczowym czynnikiem, który wpłynął na wzrost zysku, był czas, w jakim dochodziło do sprzedaży energii. Instalacja wyposażona w akumulator umożliwiła przesunięcie czasu sprzedaży na godziny wieczorne. Charakteryzują się one wyższą ceną energii niż godziny popołudniowe, do których

ograniczona była sprzedaż w przypadku systemu bez akumulatora. Uzyski dla każdej godziny w roku zestawiono z rynkowymi cenami energii elektrycznej (RCE), opierając się na stawkach prezentowanych przez raporty dostępne na stronie Polskich Sieci Elektroenergetycznych [4]. Na rysunku 1 przedstawiono rynkowe ceny energii w ujęciu godzinowym dla przykładowego dnia w 2023 roku. Widoczne są duże różnice cen energii w poszczególnych częściach doby. Godziny poranne i wieczorne charakteryzują się najwyższymi cenami. Dysproporcja pomiędzy cenami energii szczególnie zauważalna jest w miesiącach letnich. Wykresy dla miesięcy zimowych zazwyczaj przedstawiają mniejsze różnice.



Rys. 1. Rynkowa cena energii elektrycznej dla 05.04.2023 roku  
(opracowano na podstawie raportu dobowego PSE)

Uzyskane wyniki wskazują, że użycie akumulatora jako narzędzia pozwalającego przesunąć moment sprzedaży energii prowadzi do wzrostu zysków. Jest to widoczne w każdym miesiącu w roku. W przypadku czterech najsłabszych miesięcy (listopad-grudzień), z powodu niskiej produkcji energii oraz mniejszej różnicy cen w ciągu dnia, stosowanie akumulatora przyniesie jedynie minimalne korzyści. W tym okresie skumulowany zysk energii wynosi zaledwie kilkanaście procent zysków rocznych. Aby osiągnąć maksymalny wzrost zysków, należy skoncentrować się głównie na miesiącach letnich, które cechują się wysoką dostępnością energii słonecznej oraz większą dysproporcją cen.

Należy zaznaczyć, że obecnie największą korzyść przynosi wykorzystywanie akumulatora w celu podnoszenia autokonsumpcji energii poprzez pokrywanie zapotrzebowania w godzinach, gdy nie działa instalacja PV. Wynika to z różnicy pomiędzy ceną energii kupowanej oraz sprzedawanej przez właściciela mikroinstalacji.

## Literatura

- [1] Instytut Energetyki Odnawialnej, <https://ieo.pl/> [dostęp: 22.04.2024].
- [2] *Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 r.*, Dz. U. 2015, poz. 478.
- [3] Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Nowe zasady rozliczeń prosumentów od 2022 r.*, Warszawa 2021.
- [4] Polskie Sieci Elektroenergetyczne, <https://www.pse.pl> [dostęp: 25.04.2024].

# POTENCJAŁ ENERGETYCZNY POLSKIEJ WYŁĄCZNEJ STREFY EKONOMICZNEJ MORZA BAŁTYCKIEGO

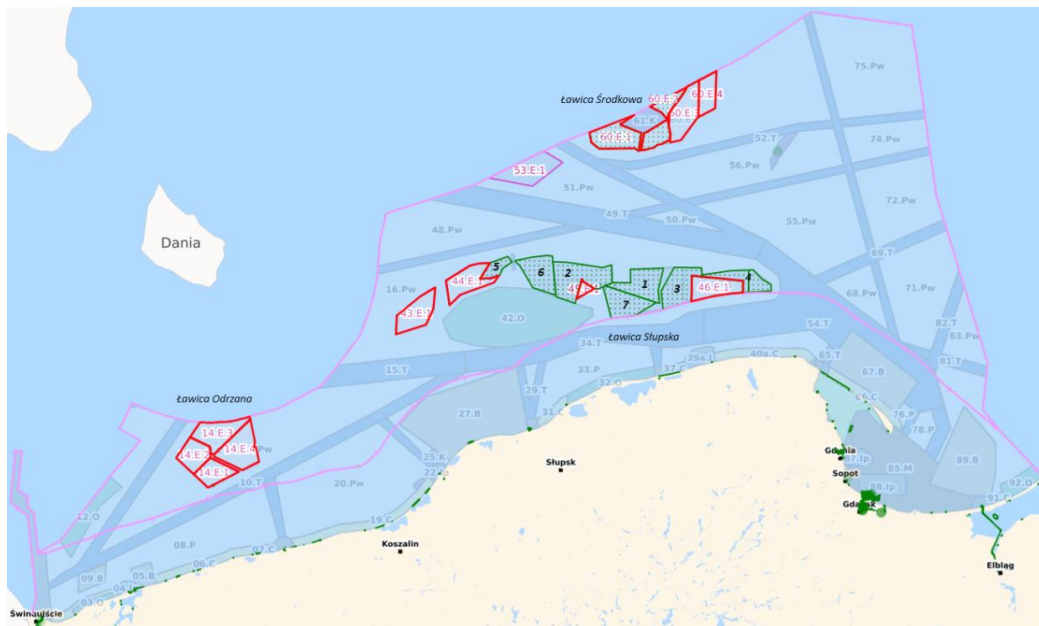
## BALTIC SEA'S ENERGY POTENTIAL IN THE POLISH EXCLUSIVE ECONOMIC ZONE

Adam Rasiński

Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [267120@student.pwr.edu.pl](mailto:267120@student.pwr.edu.pl)

Położenie Polski nad Bałtykiem wiąże ze sobą wiele korzyści, których często nie porusza się w przestrzeni publicznej. Ponad 50% wartości światowego handlu oraz 80% wolumenu światowego transportu odbywa się drogą morską [1]. Z tego względu stosunkowo płytkie oraz „słonawe” morze, daje możliwość do wymiany handlowej ze światem. W ostatnim czasie, z uwagi na sytuacją geopolityczną, polskie porty zyskały na znaczeniu, zwłaszcza w kontekście przeladunku surowców energetycznych. W pierwszej połowie 2022 roku w Europie radykalnie ograniczono import węgłowodorów z Rosji. Wzmózone przeladunki węgla nastąpiły z takich krajów jak Kolumbia, RPA oraz Mozambik. W efekcie, w Porcie Gdańsk przeladowano ponad 13 mln ton węgla i koksu (+176% w porównaniu z 2021 rokiem)[2]. Tendencja wzrostu zdecydowanie zwolniła, i w raporcie podsumowującym 2023 r. wynosiła już tylko +1,1% [3], jednakże podkreślono fakt, że 47,2% ładunków w polskich portach to surowce energetyczne. W związku z tym można stwierdzić, że bezpieczeństwo energetyczne Polski jest oparte o Morze Bałtyckie. Infrastruktura taka jak Terminal LNG w Świnoujściu, Naftoport w Gdańsku, czy rurociąg Baltic Pipe pozwalają na dywersyfikację dostawców surowców energetycznych, których wartość importu w 2022 r. wyniosła rekordowe 193 mld zł (rok wcześniej było to ok. 100 mld zł)[4]. Ponadto morskie połączenie kablowe *SuePol Link* jest kluczowe w bilansowaniu polskiego systemu elektroenergetycznego. Obok wspomnianej infrastruktury zapewniającej ciągłość w dostawach surowców, dla polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej Morza Bałtyckiego otworzyła się możliwość rozwoju morskich farm wiatrowych (proponowane obszary na rys. 1), które mogą okazać się ważnym ogniwem transformacji energetycznej kraju. Polskie spółki energetyczne, przy współpracy z zagranicznymi partnerami, rozpoczęły prace nad projektami o łącznej mocy zainstalowanej ok. 6 GW w pierwszej fazie rozwoju [5]. W perspektywie 2030 r. morskie farmy wiatrowe będą odpowiadać za 13%, a w 2040 r. za 19% generowanej energii elektrycznej. W rządowej strategii „Polityka energetyczna Polski do 2040 r.” założono zainstalowanie 11 GW, które w rocznym bilansie dostarczą do systemu 39,4 TWh energii elektrycznej. Natomiast według Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej całkowity potencjał polskiej części Morza Bałtyckiego wynosi nawet 3-krotnie więcej [6].



Rys. 1. Obszary planowanych morskich farm wiatrowych [5]

Legenda: 1 – Baltica 3, 2 – Baltica 2, 3 – Baltic Power, 4 – BC-Wind, 5 – FEW Baltic II, 6 – Bałtyk II, 7 – Bałtyk III, 14.E.1 – Energa MFW 1, 14.E.2 – Energa MFW 2, 14.E.3/14.E.4/46.E.1 – Orlen Neptun, 43.E.1 – Baltica 7, 44.E.1 – Baltica 9, 45.E.1 – Baltica 2+, 60.E.2 – Baltica 1, 60.E.3 – Baltica 1+, 60.E.4 – Baltica 5, 53.E.1 – postępowanie nierozstrzygnięte

Pierwsza faza projektów w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej Morza Bałtyckiego została przedstawiona w tabeli 1. Są to inwestycje, które ukończyły większość procesów legislacyjnych oraz są objęte rządowym systemem wsparcia [7]. Znaczna część tych przedsięwzięć zakończyła przetargi dotyczące wyboru dostawców turbin. Inwestorzy zdecydowali się na liderów branży, mianowicie firmę Vestas oraz Siemens Gamesa. Będą to m.in. turbiny o mocy znamionowej 14,4 MW (SG 14-236 DD), w przypadku współpracy spółki Polenergia z firmą Equinor, oraz 15 MW (V236-15) produkowane przez duńskiego dostawcę na potrzeby projektu Baltic Power. Turbiny wiatrowe zostaną zainstalowane na fundamentach typu monopal, z uwagi na dogodną w tych obszarach głębokość (30–50 m). Co więcej, obszary z fazy I systemu wsparcia wyróżniają się oczekiwanym najniższym średnim LCOE (ang. *Levelized Cost of Electricity*). Jest to spowodowane lokalizacją stosunkowo blisko brzegu (30–50 km), wspomnianą głębokością akwenu oraz optymalną kosztowo, opartą na sprawdzonych rozwiązaniach warstwą technologiczną.

W drugiej fazie projektów farm wiatrowych typu *offshore* (tabela 2) jak dotąd tylko Bałtyk I oraz Baltica 1 otrzymały pozwolenia na przyłączenie do sieci (UP oraz WTP) [9]. Wszystkie projekty są na etapie uzyskiwania decyzji środowiskowej (DŚU) oraz muszą wykonać badania geotechniczne dna morskiego.

Tabela 1. Najbardziej zaawansowane projekty morskich farm wiatrowych w Polsce [5, 8]

Lp.	Nazwa projektu	Inwestorzy	Deklarowana moc zainstalowana, MW	Rozpoczęcie produkcji energii
1	Baltic Power	PKN Orlen/ Northland Power	1200	2026
2	Baltica 3	PGE/Ørsted	1050	2026
3	FEW Baltic II	RWE	440	2026–2030
4	Baltica 2	PGE/Ørsted	1500	2027
5	MFW Bałtyk II	Polenergia/Equinor	720	2027
6	MFW Bałtyk III	Polenergia/Equinor	720	2027
7	B Wind	Ocean Winds	250	2027
8	C Wind	Ocean Winds	250	2027

Tabela 2. Druga tura projektów morskich farm wiatrowych w Polsce [5, 8]

Lp.	Nazwa projektu	Inwestorzy	Deklarowana moc zainstalowana, MW	Rozpoczęcie produkcji energii
1	Energia MFW 1	PKN Orlen	812	2031–2033
2	Energia MFW 2	PKN Orlen	896	2031–2033
3	Orlen Neptun 14.E.3	PKN Orlen	1204	2031–2033
4	Orlen Neptun 14.E.4	PKN Orlen	1204	2031–2033
5	Baltica 7	PGE/Tauron	990	2031–2033
6	Baltica 9	PGE	975	2031–2033
7	Baltica 2+	PGE/Ørsted	210	2031–2033
8	Orlen Neptun 46.E.1	PKN Orlen	966	2031–2033
9	MFW Bałtyk I	Polenergia/Equinor	1560	2030
10	Baltica 1	PGE	900	2031
11	Baltica 1+	PGE	1185	2031–2033
12	Baltica 5	PGE/Enea	555	2031–2033

Raport PSEW „Potencjał Morskiej Energetyki Wiatrowej w Polsce” wskazuje również 3 fazy rozwoju pozyskiwania energii z wiatru w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej. Są to obszary o potencjale 17,7 GW mocy zainstalowanej [9]. Ta optymistyczna prognoza zakłada wykorzystanie fundamentów pływających dla 6 lokalizacji (z uwagi na głębokość akwenu), co będzie wyzwaniem technicznym, ale również znacząco wpłynie na koszt inwestycji. Ponadto, trzecia tura projektów będzie borykała się z ograniczeniami natury planistyczno-regulacyjnej oraz środowiskowo-krajobrazowej.

Mimo to, myśląc o morskiej energetyce wiatrowej w polskim obszarze Morza Bałtyckiego, należy traktować proponowane inwestycje jako wykorzystanie naturalnego potencjału akwenu, będącego dla kraju niesamowicie istotnym zbiornikiem wodnym z punktu widzenia szeroko rozumianej energetyki.

## Literatura

- [1] Ferrari E. et al., *The impact of rising maritime transport costs on international trade: Estimation using a multi-region general equilibrium model of Space Exploration*, “Transportation Research Interdisciplinary Perspectives” 2023, Vol. 22, 100985.
- [2] *Wpływ sytuacji geopolitycznej na największe bałtyckie porty w 2022 roku*, „Port Monitor” 2023.
- [3] *Polskie porty morskie w 2023 roku. Podsumowanie i perspektywy na przyszłość*, „Port Monitor” 2024.
- [4] Dusilo M., *Transformacja energetyczna w Polsce. Echa 2023*, „Forum Energii”.
- [5] <https://www.gov.pl/web/morska-energetyka-wiatrowa/program-rozwoju-morskich-farm-wiatrowych> [data pobrania: 27.05.2024].
- [6] Polskie Stowarzyszenie energetyki wiatrowej, *Potencjał Morskiej Energetyki Wiatrowej w Polsce*, 2022.
- [7] <https://www.gov.pl/web/morska-energetyka-wiatrowa/system-wsparcia> [data pobrania: 27.05.2024].
- [8] Wind Europe, *Offshore wind vessel availability until 2030: Baltic Sea and Polish perspective*, 2022.
- [9] <https://www.gov.pl/web/morska-energetyka-wiatrowa/obecnie-realizowane-projekty-w-polsce> [data pobrania: 27.05.2024].



# ZWIĘKSZENIE SPRAWNOŚCI OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH POPRAZ WYKORZYSTANIE NANOCZĄSTEK SREBRA

## ENHANCEMENT OF SOLAR CELL EFFICIENCY USING SILVER NANOPARTICLES

Karol Rauch, Katarzyna Gwóźdź

Katedra Fizyki Doświadczalnej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki,  
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [261922@student.pwr.edu.pl](mailto:261922@student.pwr.edu.pl)

Fotowoltaika zyskuje coraz większe uznanie w energetyce krajowej i światowej. Jak podaje Agencja Rynku Energii, co roku zwiększa się liczba powstałych instalacji, zarówno konsumenckich jak i przemysłowych. Ilość generowanej mocy przez ogniwo bezpośrednio wynika z jego sprawności, czyli zdolności konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Dla standardowego ogniwa krzemowego o sprawności 16,9% dodanie 1-go punktu procentowego (pp.) pozwala na wzrost mocy wyjściowej o ponad 10 W na 1 m<sup>2</sup>. Aby utrzymać konkurencyjność tej technologii, konieczne są dalsze prace nad zwiększaniem sprawności ogniw słonecznych.

Jedną z możliwości zwiększenia wydajności ogniw jest wzrost współczynnika absorpcji światła. Można to zrealizować, wykorzystując tzw. zjawisko plazmonowe w nanocząstkach metalicznych. Nanocząstki (ang. *nanoparticles* - NPs) czyli drobiny materiału, których rozmiary nie przekraczają 100 nm, mają inne właściwości fizyko-chemiczne niż ten sam materiał w większej objętości. Właściwości nanocząstek ściśle zależą od ich rozmiaru, kształtu, materiału, z którego są wykonane oraz materiału otoczenia. Światło, padając na nanocząstkę, pobudza swobodne elektrony w metalu, co prowadzi do powstania dodatkowego pola elektrycznego. Można wykorzystać to zjawisko do zwiększenia absorpcji oraz sprawności w ogniwach słonecznych. Dotychczasowe badania pokazują skuteczność tej metody, np. wzrost sprawności o 0,15 pp. dla NPs Ag oraz o 1,34 pp. dla NPs Au dla ogniw cienkowarstwowych na bazie ZnO [1], 1,79 pp. dla NPs TiCl<sub>4</sub> dla ogniw barwnikowych (ang. *Dye-sensitized solar cell* – DSSC) [3], 1,62 pp. dla NPs Al dla ogniw krzemowych [4] i ponad 10 pp. dla NPs NiO dla ogniw perowskitowych [5].

Istnieją różne metody wytwarzania nanocząstek. Metody litograficzne wymagają warunków próżni, gdy jest to litografia wiązka elektronową lub jonową. Do grupy metod litograficznych zaliczają się również metody wykorzystujące substancje trawiące. Chemiczna metoda osadzania z fazy gazowej wymaga stosowania substancji reagujących z podłożem podczas tworzenia nanocząstek. Metoda

fizycznego osadzania pozwala w łatwy i bezpieczny sposób wytworzyć nanocząstki na płaskiej powierzchni. Wymaga to jednak zapewnienia warunków próżni, by zminimalizować rozpraszanie nanoszonego materiału na atomach zawartych w powietrzu [2]. Wszystkie te metody wymagają bardzo specyficznych warunków, środków chemicznych bądź aparatury do wytwarzania nanocząstek. Natomiast metoda katodowego napyłania cienkich warstw jest prosta i tania oraz może zostać wykorzystana do wytwarzania nanocząstek metalicznych.

W tej pracy zostaną przedstawione różne metody wytwarzania nanocząstek, tj. metody litograficzne, osadzania z fazy gazowej i związane z zjawiskiem samoorganizacji. Zostanie omówiony wpływ NPs na sprawność fotoogniw. Uwaga zostanie skupiona na katodowym napyłaniu nanocząstek srebra i ich właściwościach optycznych oraz strukturalnych, które były badane w ramach pracy inżynierskiej prezentującego. W podsumowaniu zostaną pokazane możliwości optymalizacji ogniw fotowoltaicznych różnych typów przy wykorzystaniu nanocząstek.

## Literatura

- [1] Gwóźdź K. i in., *Parametry konwersji fotowoltaicznej dla fotoogniw plazmowych na bazie ZnO z nanocząstkami srebra i złota*, „Przegląd Elektrotechniczny” 2016, R. 92, nr 9, doi: 10.15199/48.2016.09.09.
- [2] Korzeb K. i in., *Przegląd metod otrzymywania materiałów plazmowych oraz wybranych alternatywnych materiałów*, „Materiały Elektroniczne” 2014, T. 42, nr 2.
- [3] Saadmim F. et al., *Enhancing the Performance of Dye Sensitized Solar Cells Using Silver Nanoparticles Modified Photoanode*, “Molecules” 2020, Vol. 25, 4021, doi: 10.3390/molecules25174021.
- [4] Fjell M.D. et al., *Enhancing Silicon Solar Cell Performance Using a Thin-Film-like Aluminum Nanoparticle Surface Layer*, “Nanomaterials” 2024, Vol. 14, 324, <https://doi.org/10.3390/nano14040324>
- [5] Kwon U. et al., *Solution-Processible Crystalline NiO Nanoparticles for High Performance Planar Perovskite Photovoltaic Cells*, “Scientific Reports” 2016, Vol. 6, 30759, doi: 10.1038/srep30759.

# WPŁYW ZANIECZYSZCZENIA PANELI FOTOWOLTAICZNYCH NA ZMIANĘ PARAMETRÓW PRACY

## THE IMPACT OF PHOTOVOLTAIC PANELS CONTAMINATION ON THE CHANGE OF OPERATING PARAMETERS

Tomasz Rybak<sup>1</sup>, Adam Molczan<sup>1</sup>, Sandra Jarmuła<sup>1</sup>, Mateusz Lichoń<sup>1</sup>,  
Sara Majewska<sup>1</sup>, Marcin Michalski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Studenckie Koło Naukowe „Płomień”, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

<sup>2</sup>Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [tomasz.rybak99@gmail.com](mailto:tomasz.rybak99@gmail.com)

Zauważalny rozwój technologii i różnych gałęzi przemysłu generuje coraz większe zapotrzebowanie na energię. Tradycyjne metody jej wytwarzania oparte na paliwach kopalnych ustępują teraz miejsca alternatywnym źródłom energii, z uwagi na globalną politykę ekologiczną. Nieustanna emisja gazów cieplarnianych skutkuje niepożądanymi zmianami w ekosystemie, dlatego konieczna staje się restrukturyzacja energetyki. W tym kontekście panele fotowoltaiczne stanowią jedno z proponowanych rozwiązań. Wykorzystując zjawisko fotowoltaiczne, przekształcają one energię słoneczną w energię elektryczną. W Polsce produkcja energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych rośnie dynamicznie. Na koniec 2022 roku zarejestrowano moc zainstalowaną wynoszącą 12,5 GW, a do grudnia 2023 roku wzrosła ona do 17,1 GW [1, 2].

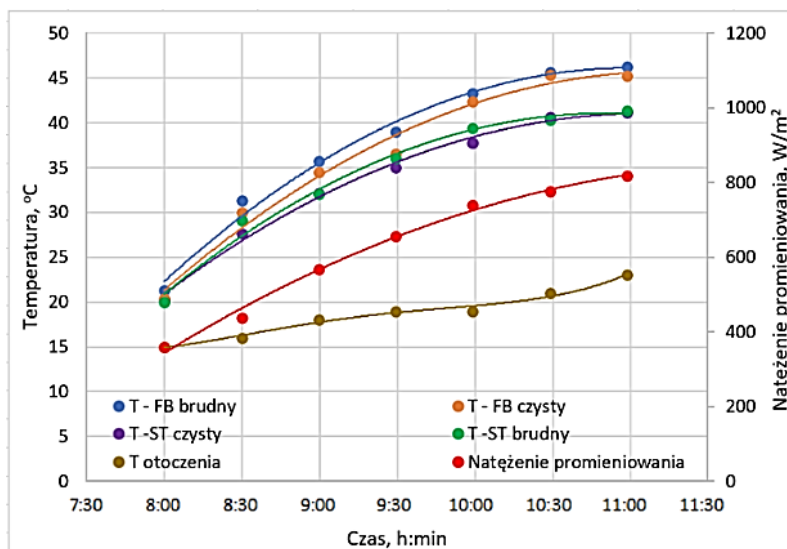
Systemy fotowoltaiczne są jednak podatne na regularne zanieczyszczenia, co obniża ich efektywność. Zabrudzenia paneli pochodzą głównie z zewnętrznych czynników, takich jak pył czy liście. Chociaż część zanieczyszczeń jest usuwana przez deszcz, duża ich ilość gromadzi się na dolnej części paneli. Dodatkowo, ptasie odchody mogą powodować zacinienie paneli i trwale uszkodzenia ich powierzchni. W okresie zimowym nagromadzony śnieg może również uniemożliwić dostęp światła słonecznego do paneli, co prowadzi do spadku produkcji energii. Błędy w projektowaniu instalacji, takie jak niedociągnięcia w konstrukcji budynków, mogą również przyczynić się do zacinienia [3]. Ponadto, w sezonie wiosenno-letnim w trakcie koszenia terenów, na których zlokalizowane mogą być instalacje fotowoltaiczne, może dojść do zanieczyszczenia ich trawą. Problem może być szczególnie istotny w przypadku farm fotowoltaicznych zlokalizowanych na terenach łąk, gdzie prawdopodobieństwo zabrudzenia ze względu na częstotliwość koszenia jest stosunkowo wysokie. Z uwagi na brak danych dotyczących tego typu zabrudzenia, postanowiono sporządzić badanie, które wykaże wpływ tego rodzaju zanieczyszczenia na sprawność systemu.

Przeprowadzono badanie dla dwóch typów paneli fotowoltaicznych w technologii Half-Cut Standard oraz Full Black. Część badaną stanowiska przedstawiono na rys. 1.

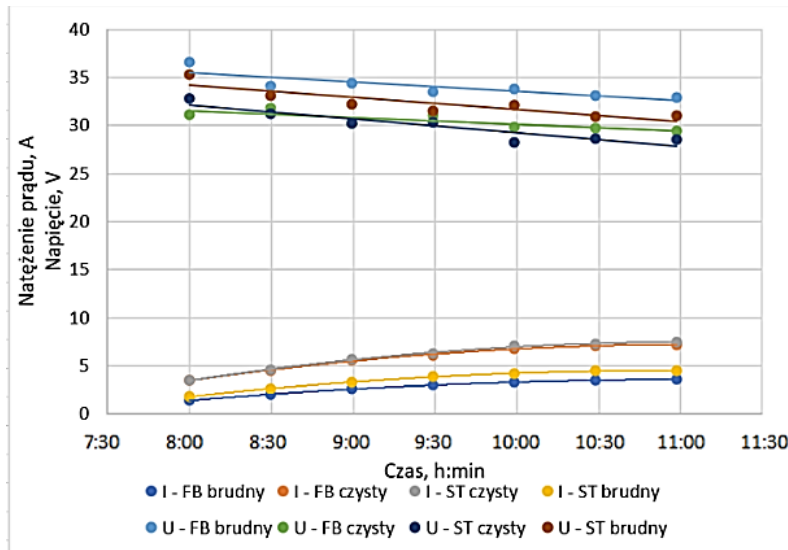


Rys. 1. Zdjęcie badanych paneli fotowoltaicznych

Na podstawie pomiarów wartości natężenia promieniowania słonecznego, napięcia, natężenia prądu oraz temperatury otoczenia i temperatur powierzchni paneli fotowoltaicznych, sporządzono charakterystyki (rys. 2 i 3), które wskazują na istotne różnice między panelami czystymi a zabrudzonymi.

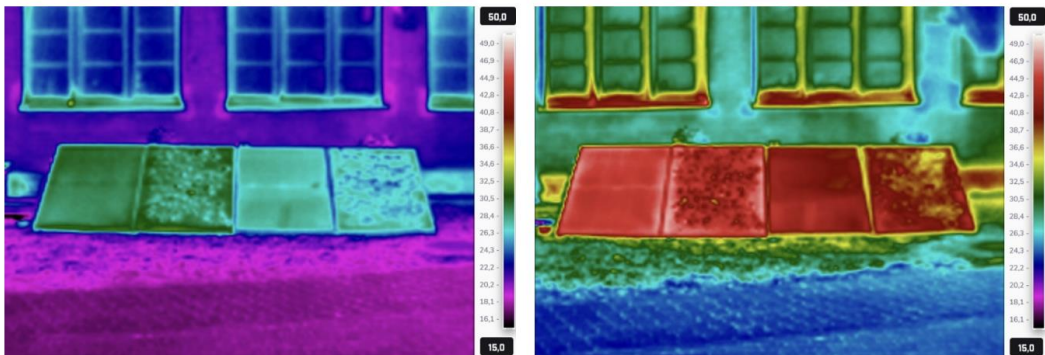


Rys. 2. Charakterystyka wartości temperatur paneli, natężenia promieniowania oraz temperatury otoczenia w funkcji czasu



Rys. 3. Charakterystyka wartości napięcia oraz natężenia prądu w funkcji czasu

Ponadto oprócz standardowych pomiarów wykonano zdjęcia kamerą termowizyjną w celu jakościowego porównania przyrostu temperatury paneli w czasie (rys. 4).



Rys. 4. Charakterystyka wartości napięcia oraz natężenia prądu w funkcji czasu

Przeprowadzone badanie pozwoliło zaobserwować różnice między dwoma technologiami paneli, wskazujące na to, że panele Full Black są bardziej podatne na spadek sprawności ze względu na zwiększony obszar czarnej powierzchni, a zanieczyszczenie trawą powodowało dodatkowe nagrzewanie. Głównym czynnikiem wpływającym na spadek napięcia jest wzrost temperatury paneli. Panel Full Black okazał się bardziej wrażliwy na zabrudzenie trawą, osiągając niższe wartości natężenia prądu niż zabrudzony panel Standard, przy średniej różnicy 0,77 A. Mimo wyższej ogólnej sprawności czys-



tych paneli, ich efektywność ulega stosunkowo większemu obniżeniu w miarę wzrostu natężenia promieniowania słonecznego. Wynika z tego, że największe spadki sprawności występują przy niższych wartościach natężenia promieniowania. Otrzymane wartości sprawności zabrudzonych paneli są istotnie niższe, przy czym względny spadek sprawności paneli Standard wynosi średnio 37,0%, a paneli Full Black – 47,6%. Technologia Full Black jest zatem bardziej podatna na spadek sprawności w wyniku zabrudzenia oraz w mniejszym stopniu dodatkowego wzrostu temperatury, co w konsekwencji prowadzi do generowania mniejszej ilości energii elektrycznej po ich wystąpieniu.

Podsumowując, wybór paneli w technologii Standard pod względem odporności na zanieczyszczenie trawą oraz zmian temperatury pracy paneli jest bardziej korzystny.

## Literatura

- [1] <https://wysokienapiecie.pl/81094-polskafotowoltaika-trzyma-sie-mocno/> [dostęp: 01.04.2024].
- [2] <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-fotowoltaiki-w-polsce/> [dostęp: 02.03.2024].
- [3] Niedziela P. i in., *Zacienienie paneli fotowoltaicznych*, „Polish Journal for Sustainable Development” 2018.

# OGNIWA SŁONECZNE TRZECIEJ GENERACJI: KROPKI KWANTOWE I ORGANICZNE

## THIRD GENERATION SOLAR CELLS: QUANTUM DOT AND ORGANIC

Mikołaj Rygallo, Patryk Żymelka

Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, Politechnika Wroclawska  
Kolo Naukowe PWr Solar Boat Team, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [263543@student.pwr.edu.pl](mailto:263543@student.pwr.edu.pl)

Wzrastające zapotrzebowanie na energię i coraz większe zainteresowanie społeczeństwa rozwiązaniami ekologicznymi sprawiają, że coraz większa waga przykładana jest do odnawialnych źródeł energii. Jedną z najpopularniejszych i najbardziej dostępnych technologii związanych z OZE są panele słoneczne. Podjęliśmy się przeprowadzenia analizy i przeglądu dwóch rodzajów ogniw słonecznych opartych na nowych technologiach, na bazie kropek kwantowych oraz ogniw organicznych. Celem naszych badań jest zapoznanie z nowymi technologiami dostępnymi w przemyśle ogniw słonecznych oraz analiza ich parametrów i zastosowania, przede wszystkim w transporcie wodnym.

Najważniejszą cechą ogniw słonecznych jest ich efektywność zamiany światła słonecznego na elektryczność. Komercyjne silikonowe panele słoneczne mają efektywność na poziomie 14–19%, z teoretycznym limitem 30%. Choć aktualna najwyższa efektywność osiągnięta przez kropki kwantowe równa jest 18,1%, przewiduje się, iż teoretyczna granica wynosi aż 66%, tym samym podwajając maksymalną efektywność ogniw silikonowych i przelamując Limit Schockleya–Queissera.

Ogniwa organiczne w 2023 roku osiągnęły efektywność 19,3% w eksperymencie przeprowadzonym przez Hong Kong Polytechnic University. Najważniejszym elementem odróżniającym ogniwa organiczne od silikonowych jest fakt, iż mogą one pracować na wyższym napięciu, dzięki porównywalnie większej przerwie energetycznej. Drugim wyjątkowym aspektem organicznych ogniw jest ich budowa, w szczególności ich grubość będąca w zakresie 100 nm. Aspekt ten nadaje ich budowie giętkość, która pozwala na zintegrowanie tych ogniw na najróżniejszych powierzchniach.

## Literatura

- [1] Sogabe T. et al., *Recent progress on quantum dot solar cells: A review*, “Journal of Photonics for Energy” 2016, Vol. 6, doi: 10.1117/1.JPE.6.040901.
- [2] Chen L.X., *Organic Solar Cells: Recent Progress and Challenges*, “ACS Energy Letters” 2019, Vol. 4, doi: 10.1021/acsenerylett.9b02071.
- [3]





# PROJEKT KONCEPCYJNY NAPĘDU HYBRYDOWEGO RBCC DLA STATKU KOSMICZNEGO WIELOKROTNEGO UŻYTKU

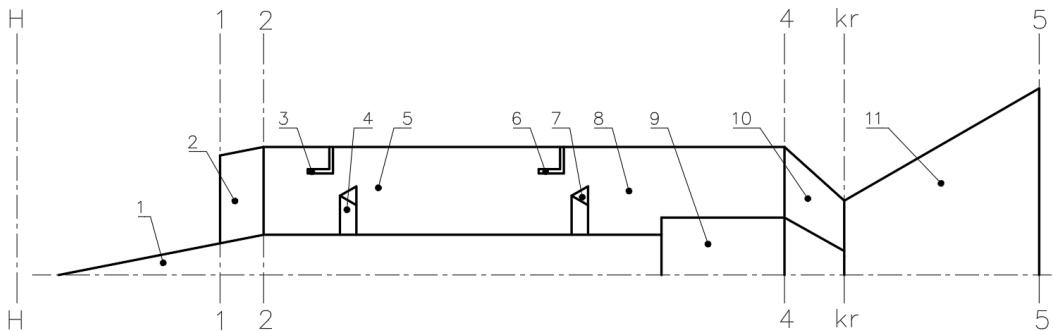
## CONCEPTUAL DESIGN OF THE RBCC PROPULSION SYSTEM FOR A REUSABLE SPACECRAFT

Anita Rygiel

Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [260849@student.pwr.edu.pl](mailto:260849@student.pwr.edu.pl)

W związku z wciąż zmieniającymi się potrzebami i trendami w lotnictwie i kosmonautyce, należy zwrócić uwagę na rozwój napędów hipersonicznych. Mogą one przyspieszyć dalekie podróże i usprawnić transport lotniczy. Można wśród nich wyróżnić napędy hybrydowe, które stanowią połączenie co najmniej dwóch rodzajów silników lotniczych lub kosmicznych zabudowanych w jednym kadłubie jako pojedynczy silnik. Napędy hybrydowe mogą pracować w kilku trybach pracy, zależnych od warunków lotu.



Rys. 1. Wstępny (poglądowy) schemat projektowanego silnika.

Legenda: 1 – regulowany stożek centralny, 2 – wlot powietrza, 3 – wtryskiwacz paliwa silnika scramjet, 4 – stabilizator płomienia silnika scramjet, 5 – komora spalania silnika scramjet, 6 – wtryskiwacz paliwa silnika ramjet, 7 – stabilizator płomienia silnika ramjet, 8 – komora spalania silnika ramjet, 9 – silnik raketowy, 10 – część zbieżna dyszy wylotowej, 11 – część rozbieżna dyszy wylotowej

Dla lotów kosmicznych za perspektywiczny uważany jest napęd hybrydowy RBCC (ang. *Rocket-Based Combined Cycle*), który w poszczególnych fazach lotu działa jak chemiczny silnik raketowy, silnik strumieniowy z poddźwiękową komorą spalania (ang. *ramjet*) lub silnik strumieniowy z naddźwiękową komorą spalania (ang. *scramjet*).

Proces projektowania poprzedzono analizą istniejących konstrukcji napędów hybrydowych opartych na silnikach raketowych (LACE, Aerojet Strutjet, ISTAR, SABRE). Na jej podstawie zaproponowano koncepcję napędu hybrydowego RBCC dla statku kosmicznego wielokrotnego użytku (rys. 1). Określono również plan lotu od startu do osiągnięcia niskiej orbity okołoziemskiej (ang. LEO – *low Earth orbit*).

Wstępne obliczenia gazodynamiczne konstrukcji projektowanego silnika wykonano, obliczając osobno parametry strumienia masy przepływającego przez konstrukcję w poszczególnych trybach pracy. W ten sposób określono również geometrię części składowych napędu hybrydowego.

Przedstawiono wykonane charakterystyki pracy napędu hybrydowego RBCC w kolejnych trybach pracy. Otrzymany napęd hybrydowy RBCC charakteryzuje się zbliżonymi parametrami pracy do dotychczas powstałych napędów RBCC.

Uzyskane wyniki potwierdzają zatem zasadność rozwoju metod pozwalających na projektowanie, modelowanie oraz testowanie napędów hybrydowych opartych na silnikach raketowych w celu zastosowania ich na statkach kosmicznych wielokrotnego użytku.

Zagadnienia, które wymagają rozwoju w kontekście zaprojektowanego systemu napędowego, to w szczególności zmniejszenie komplikacji konstrukcji oraz ustalenie jednoznacznych modeli obliczeniowych pozwalających na zaprojektowanie silnika o optymalnych osiąгах.

# CZUJNIKI ŚWIATŁOWODOWE DO POMIARU TEMPERATURY – OD TEORII DO PRAKTYKI

## FIBER OPTIC SENSORS FOR TEMPERATURE MEASUREMENT – FROM THEORY TO PRACTICE

Marta Stempniak<sup>1, 4</sup>, Gabriela Statkiewicz-Barabach<sup>2</sup>, Cezary Czajkowski<sup>1</sup>,  
Sławomir Pietrowicz<sup>1</sup>, Mateusz Mądry<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

<sup>2</sup>Katedra Optyki i Fotoniki, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wroclawska,

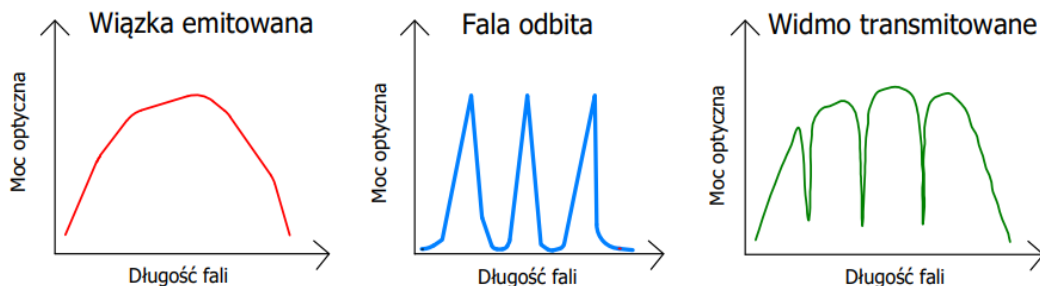
<sup>3</sup>Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wydział Informatyki i Telekomunikacji,  
Politechnika Wroclawska

<sup>4</sup>Interlab Sp. z o.o.

Adres do korespondencji: [marta.stempniak@pwr.edu.pl](mailto:marta.stempniak@pwr.edu.pl)

W artykule zaprezentowane zostały przykładowe zastosowania rozłożonych (DFOS – ang. *Distributed Fiber Optic Sensing*) i quasi-rozłożonych (opartych o światłowodowe siatki Bragga, FBG) czujników światłowodowych do pomiarów temperatury, umożliwiających analizę w wielu punktach jednocześnie, w czasie rzeczywistym. Omówione zostały różnice pomiędzy poszczególnymi metodami pomiarowymi, ich zalety oraz ograniczenia.

Czujniki światłowodowe wykorzystujące klasyczne włókna optyczne mają wiele zalet w porównaniu do ich elektrycznych odpowiedników i są z powodzeniem stosowane od wielu lat. Niewielki rozmiar średnicy (ok. 0,125–0,25 mm) [4] pozwala na ich użytkowanie w różnych warunkach przy zachowaniu niskich kosztów instalacji i konserwacji. Właściwości dielektryczne szkła krzemionkowego, najczęściej wykorzystywanego do produkcji włókien optycznych, pozwalają na zastosowanie czujników światłowodowych w obszarze zakłóceń elektromagnetycznych i wysokich napięć, w warunkach zapylenia oraz przy wysokich ciśnieniach, wibracjach i temperaturze [2–5]. Zaletą takich czujników jest również możliwość przesyłania wyników pomiarów na dużą odległość, rzędu dziesiątek kilometrów. Jest to wykorzystywane m.in. w monitorowaniu naprężeń dużych konstrukcji budowlanych, takich jak tunele, mosty, czy stan torów w branży kolejowej [1, 4, 6]. Obszary, w których włókna optyczne mogą być użyte jako aktywne medium pomiarowe, są bardzo obszerne i obejmują pomiary parametrów mechanicznych (ciśnienia, odkształcenia), pomiary temperatury, pomiary stężenia zanieczyszczeń oraz pomiary wielkości elektrycznych i magnetycznych.



Rys. 1. Działanie czujnika ze zwielokrotnioną siatką Bragga

Czujniki światłowodowe można rozróżnić w kontekście obszaru, z którego mogą zbierać informacje. Czujniki punktowe, np. światłowodowe interferometry, siatki długookresowe lub siatki Bragga, mogą mierzyć odpowiedź z jednego wybranego punktu [2]. Czujniki quasi-rozłożone są zbiorem wielu czujników punktowych (np. wielu siatek Bragga zapisanych na różne długości fali światła, rys. 1) i mogą dostarczać danych pomiarowych na zmiany danego czynnika z wielu miejsc [1]. Czujniki rozłożone, wykorzystujące zjawiska rozpraszania Brillouina, Ramana lub Rayleigha w światłowodach, pozwalają na wykonywanie pomiarów ciągłych z dużą rozdzielczością przestrzenną, zależną od rodzaju czujnika i długości toru pomiarowego (tab. 1) [1, 3, 5, 6].

Tabela 1. Porównanie komercyjnie dostępnych rozłożonych i quasi-rozłożonych czujników światłowodowych do pomiarów temperatury

Czujnik	Rozdzielczość przestrzenna	Rozdzielczość pomiaru temperatury	Zakres pomiaru temperatury	Maksymalna długość toru czujnika	Producent
<b>Czujniki rozłożone</b>					
Brillouin	4 m	0,1°C	-10–60°C	120 km	<a href="https://www.omnisens.com/power-cable.html">https://www.omnisens.com/power-cable.html</a>
Raman	5 m	0,05°C	-15–65°C	45 km	<a href="https://www.sensomet.co.uk/distributed-temperature-sensing">https://www.sensomet.co.uk/distributed-temperature-sensing</a>
Rayleigh	0,65 mm	0,1°C	-40–200°C	100 m	<a href="https://lunainc.com/product/odisi-6000-series">https://lunainc.com/product/odisi-6000-series</a>
<b>Czujniki quasi-rozłożone</b>					
FBG*	~mm – ~m	0,001°C	-20–150°C	do kilku km	<a href="https://www.smartfibres.com/products/dpts">https://www.smartfibres.com/products/dpts</a>

\* Rozdzielczość przestrzenna zależna jest od długości toru czujnika (im dłuższy tor, tym rozdzielczość jest gorsza).

Na rysunku 1 pokazano schematycznie zasadę działania światłowodowych siatek Bragga zapisanych we włóknie, dla kilku różnych długości fali. Wiązka emitowana ze źródła światła (zaznaczona czerwoną linią) po wprowadzeniu do światłowodu będzie dla pewnych długości fali odbijana (zaznaczone na niebiesko) na kolejnych strukturach siatek Bragga, a dla pozostałej części widma transmitowana (zaznaczone na zielono). Zmiana temperatury powoduje zmiany długości fali odbijanych przez siatki. Zapisanie szeregu siatek pozwala na pomiary w wielu punktach jednocześnie, z rozdzielczością przestrzenną zależną od odległości pomiędzy kolejnymi zapisanymi siatkami we włóknie [1].

Systemy światłowodowych ciągłych pomiarów, np. temperatury, bazują na efekcie rozpraszania światła wewnątrz włókna optycznego na występujących w szkle defektach. Pomiar amplitudy rozproszenia (Rayleigha, Brillouina, lub Ramana) realizowany jest za pomocą reflektometrów optycznych. W tym przypadku cały odcinek światłowodu staje się czujnikiem, a rozdzielczość przestrzenna jest zależna od rodzaju wykorzystanego zjawiska rozpraszania oraz długości czujnika [1–3] (tab. 1).

W przypadku czujników quasi-rozłożonych omówione są szerzej czujniki z siatkami Bragga, ponieważ są one najczęściej wykorzystywanym rodzajem tego typu czujników.

W perspektywie prace skupiać się będą na analizie rozkładu temperatury w rurkach kapilarnych w stanach nieustalonych oraz analizie temperatury w fazie para-ciecz z wykorzystaniem opisanych tutaj metod pomiarowych.

### Źródło finansowania

Wspomniane powyżej badania realizowane są w Laboratorium Wymiany Ciepła i Modelowania Numerycznego przy Katedrze Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej, w Laboratorium Optyki Światłowodów w Katedrze Optyki i Fotoniki Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej oraz w Laboratorium Czujników dla Inteligentnych Obiektów oraz Systemów Przesyłania Danych przy Wydziale Informatyki i Telekomunikacji Politechniki Wrocławskiej.

Projekt wspiera firma Interlab sp. z o. o., dostarczając specjalistyczny sprzęt pomiarowy.

### Literatura

- [1] Chen S. et al., *Marine Structural Health Monitoring with Optical Fiber Sensors: A Review*, “Sensors” 2023, Vol. 23, No. 4, 1877, doi.org/10.3390/s23041877
- [2] Luna inc., *High-Definition Distributed Fiber Optic Sensing*, <https://lunainc.com> [data pobrania: 2024].
- [3] Ma S. et al., *Optical Fiber Sensors for High-Temperature Monitoring: A Review*, “Sensors”, doi.org/10.3390/s22155722
- [4] Photonics marketplace, *Fiber Optics: Understanding the Basics*, [https://www.photonics.com/Articles/Fiber\\_Optics\\_Understanding\\_the\\_Basics/a25151](https://www.photonics.com/Articles/Fiber_Optics_Understanding_the_Basics/a25151) (data pobrania: 2024).
- [5] Pradhan H. et al., *Brillouin distributed temperature sensor employing phase modulation and optimization techniques*, “Optik”, <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.02.023>



- [6] Scheng L. et al, *Distributed Temperature Sensing System Based on Brillouin Scattering Effect Using a Single-Photon Detector*, “International Journal of Optics”, <https://doi.org/10.1155/2021/6623987>
- [7] <https://www.omnisens.com/power-cable.html>
- [8] <https://www.sensonet.co.uk/distributed-temperature-sensing>
- [9] <https://lunainc.com/product/odisi-6000-series>
- [10] <https://www.smartfibres.com/products/dpts>

# EKSPERYMENTALNE BADANIA ALTERNATYWNEGO SYSTEMU CHŁODZENIA BYDŁA

## EXPERIMENTAL STUDY ON AN ALTERNATIVE COOLING SYSTEM FOR CATTLE

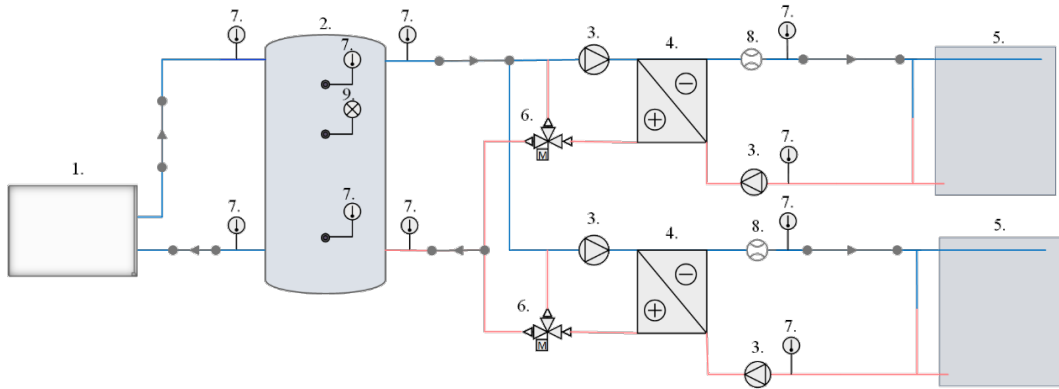
Anna Szczepanowska-Bialek, Jagoda Blotny, Sabina Rosiek

Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,  
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [anna.szczepanowska-bialek@pwr.edu.pl](mailto:anna.szczepanowska-bialek@pwr.edu.pl)

W odpowiedzi na zmiany klimatu, intensywniejsze i dłuższe fale upałów, a także występowanie sezonowych ograniczeń w dostępie do wody i energii elektrycznej w niektórych rejonach świata, podjęto tematykę przeciwdziałania występowaniu stresu cieplnego. Zjawisko to jest wywołane występowaniem wysokich temperatur oraz wysokiej wilgotności powietrza i może być niebezpieczne zarówno dla ludzi, jak i dla zwierząt, w tym szczególnie dla bydła, którego dotyczy aktualna praca. Aby realnie zwiększać dobrobyt krów, opracowywane są sposoby chłodzenia obór, oparte na zacieleniu, wymuszeniu ruchu powietrza, bezpośrednim oprysku wodą czy chłodzeniu przewodzącym. Zaproponowane rozwiązanie ma na celu polepszenie warunków bytowych poprzez zastosowanie materacy wodnych, o specjalnej strukturze [1] wcześniej zamodelowanej i wybranej spośród kilku analizowanych wariantów, przez które będzie cyrkulować schłodzona woda. W ten sposób podczas odpoczynku od krwi będzie odbierany nadmiar ciepła. Schemat stanowiska przygotowanego w ramach projektu „Radiative Water Mattress Solution for Global Milk Security (RadMAT)” został zaprezentowany na rysunku 1. System RadMAT składa się z chillera, zbiornika na schłodzoną wodę, dwóch wymienników ciepła, które rozgraniczają obieg chłodniczy z obiegami z materacami wodnymi i czterech pomp cyrkulacyjnych. Praca instalacji jest stale monitorowana dzięki zastosowaniu systemu sterowania i akwizycji danych (z ang. SCADA), który umożliwia zadanie pożądaných nastaw temperaturowych wody na wejściu do analizowanego materaca wodnego.

Zaprezentowane stanowisko zostało dwukrotnie eksperymentalnie przetestowane w latach 2022 i 2023 z udziałem zwierząt w Stacji Badawczo-dydaktycznej na wrocławskich Swojczykach, która jest częścią Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Badania te stanowią jeden z wielu etapów badawczych nad zrównoważonym rozwiązaniem dla przemysłu hodowlanego. Celem zaprezentowanych działań jest zapewnienie nowych technologii, które w przyszłości umożliwią pracę na szeroką przemysłową skalę systemów opartych na przewodzących materacach chłodzących, jak również zastosowaniu odnawialnych źródeł energii, umożliwiając lepsze zarządzanie energią.



Rys. 1. Schemat prototypowego systemu chłodzącego RadMAT składającego się z dwóch materaców wodnych.

Legenda: 1 – chiller, 2 – zbiornik, 3 – pompa cyrkulacyjna, 4 – wymiennik ciepła, 5 – wodny materac chłodzący RadMAT, 6 – zawór trójdrożny do regulacji temperatury, 7 – czujnik temperatury, 8 – przepływomierz, 9 – manometr

### Źródło finansowania

Publikacja powstała w ramach projektu RadMAT: Radiacyjny Materac Wodny, finansowanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej w ramach programu Polskie Powroty 2018 (strona internetowa projektu: [www.radmat.eu](http://www.radmat.eu)).

### Literatura

- [1] Błotny J., Rosiek S., *Heat transfer efficiency as the determinant of the water mattress design: a sustainable cooling solution for the dairy sector*, “Energy” 2022, Vol. 245, 123243, doi: 10.1016/j.energy.2022.123243



# ANALIZA WPŁYWU ZŁOŻA WÓD GEOTERMALNYCH PYRZYCE NA WYBRANE ELEMENTY ŚRODOWISKOWO-SPOŁECZNE

## ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE PYRZYCE GEOTHERMAL WATER DEPOSIT ON SELECTED ENVIRONMENTAL AND SOCIAL ELEMENTS

Karolina Szostak, Kamil Gromnicki, Justyna Górniak-Zimroz

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [karolina.szostak@pwr.edu.pl](mailto:karolina.szostak@pwr.edu.pl)

W czerwcu 1997 roku rozpoczęto działalność ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach, wykorzystującej wodę termalną o temperaturze początkowej 61°C. Woda ta przekazuje energię sieciowej wodzie grzejącej, po czym wraca na głębokość 1640 metrów, schłodzona do około 35°C. Proces ten odbywa się przy użyciu otworów eksploatacyjnych Pyrzyce GT-1 i GT-3 oraz otworów zatłaczających Pyrzyce GT-2 i GT-4. Wykonane analizy miały na celu zbadanie wpływu złóż wód geotermalnych Pyrzyce na cztery elementy środowiskowo-społeczne, czyli na dostępność komunikacyjną, na rynek zbytu, na obszary ochronne oraz na wody powierzchniowe. Klasy wpływu (klasa 1 – bardzo korzystne, 2 – korzystne, 3 – niekorzystne, 4 – bardzo niekorzystne), określone na podstawie odległości, zostały przedstawione w tabeli 1, która posłużyła do analizy wpływu na otoczenie Geotermii Pyrzyce.

Tabela 1. Klasy wpływu złoża Pyrzyce na wybrane elementy środowiskowo-społeczne

	klasa I	klasa II	klasa III	klasa IV
dostępność komunikacyjna	<10 m	10-100m	100m - 500m	500m - 1km
odległość od zabudowań/potencjalny rynek zbytu	<500m	500-1,5km	1,5-3km	3km-5km
obszary ochronne	1,5km - 3km	500m -1,5 km	100m - 500m	<100 m
wody powierzchniowe	500m-1km	100m - 500m	10m - 100m	<10 m



Wszystkie otwory eksploatacyjne i zatłaczające znajdują się w I Klasie wpływu od najbliższych zabudowań, a trzy z czterech otworów geotermalnych położone są w II Klasie wpływu komunikacyjnej (otwór GT-2 znajduje się w I Klasie wpływu). Tak korzystne położenie względem potencjalnego rynku zbytu (zabudowań mieszkalnych) na zasób, jakim jest energia geotermalna, oraz niewielka odległość od dróg czynią złoża wód geotermalnych w Pyrzycach wyjątkowo atrakcyjnymi dla inwestorów i przedsiębiorstw. Bliskość zabudowań mieszkalnych umożliwia efektywną dystrybucję ciepła, co może prowadzić do obniżenia kosztów ogrzewania dla mieszkańców. Ponadto, dobra infrastruktura drogowa sprzyja łatwemu dostępowi do miejsca eksploatacji, co obniża koszty logistyczne związane z budową i utrzymaniem instalacji geotermalnych (3). Funkcjonowanie zakładów geotermalnych oferuje wiele korzyści związanych z odnawialnymi źródłami energii. Otwory eksploatacyjne położone są w I klasie wpływu od wód powierzchniowych, natomiast otwory zatłaczające w II klasie, co korzystnie wpływa na potencjalne zapobieganie skutkom działalności tego zakładu. Jedynie otwór GT4 położony jest w IV klasie wpływu od obszarów chronionych i może stanowić potencjalne źródło zagrożenia dla obszarów chronionych i siedlisk, natomiast pozostałe otwory znajdują się w II Klasie wpływu. Zbyt bliskie położenie w stosunku do wód powierzchniowych czy obszarów chronionych i siedlisk może stanowić zagrożenie poprzez zanieczyszczenia chemiczne takie jak wysoka zawartość mineralów i chemikalia używane w procesie, zanieczyszczenie termiczne w postaci wzrostu temperatury wód powierzchniowych, zanieczyszczenia biologiczne w formie rozprzestrzeniania mikroorganizmów, zanieczyszczenia fizyczne w postaci osadów oraz inne, takie jak wycieki i wypadki oraz zmiany w lokalnym systemie hydrologicznym.

## Literatura

- [1] Biernat H. i in., *Instalacja geotermalna w Przyrzycach jako przykład pozyskiwania czystej i odnawialnej energii w ciepłowniczej oraz wód termalnych do balneologii i rekreacji*, „Przegląd Geologiczny” 2010, vol. 58, nr 8.
- [2] Black M. et al., *Using GIS to Measure Physical Accessibility to Health Care*, WHO, 2004.
- [3] Koca K. et al., *GIS-AHP approach for a comprehensive framework to determine the suitable regions for geothermal power plants in Izmir, Turkey*, “Konya Journal of Engineering Sciences” 2024, Vol. 12, No. 1, pp. 263–279.
- [4] Gromiec M. i in., *Zagrożenia związane z jakością wody*, „Nauka” 2014, Vol. 1, pp. 99–122.

# ZASTOSOWANIE MECHANIZMÓW DETONACJI W NAPĘDACH LOTNICZYCH

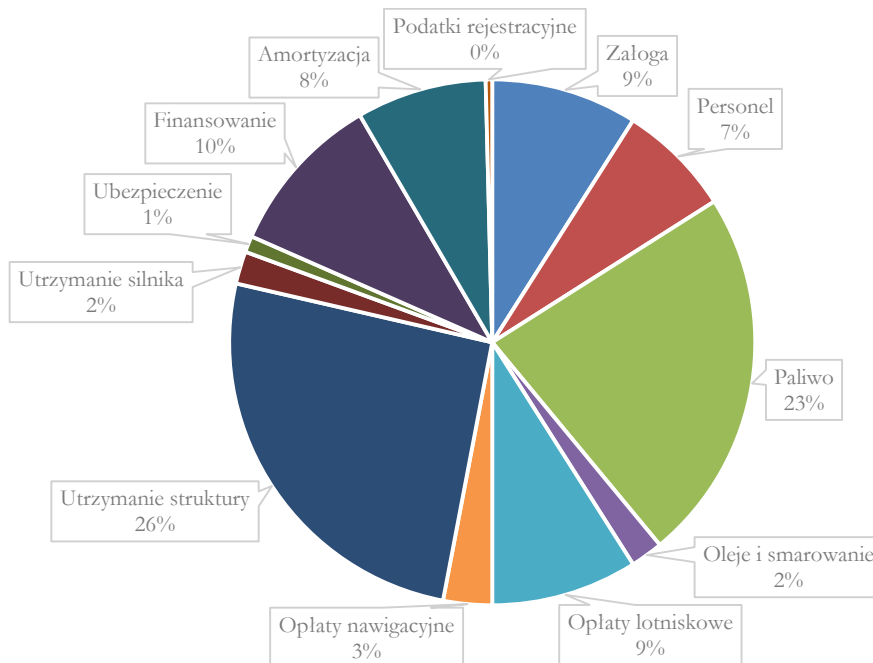
## APPLICATION OF DETONATION MECHANISMS IN AIRCRAFT PROPULSION SYSTEMS

Bartosz Warcaba

Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [267045@student.pwr.edu.pl](mailto:267045@student.pwr.edu.pl)

Współczesny rozwój przemysłu lotniczego jest ukierunkowany poprzez: chęć zwiększenia liczby przewożonych pasażerów, coraz większe wymagania dotyczące obniżenia emisji gazów cieplarnianych oraz dążenie do obniżenia ceny eksploatacji statków powietrznych. Czynnikiem, który odpowiada za jedną z największych składowych ceny obsługi statków powietrznych, jest paliwo.



Rys. 1. Składowe kosztów eksploatacji statków powietrznych opracowane na podstawie [1]

Zakładając, że nowe napędy będą miały taki sam ciąg oraz mniejsze zużycie paliwa niż starsze konstrukcje, możliwe jest zmniejszenie ilości zabranego paliwa przy jednoczesnym zwiększeniu liczby pasażerów. Jest to sytuacja korzystna dla wszystkich i inżynierowie ciężko pracują, by sprostać ciągle zmieniającym się warunkom rynku. Konstrukcje wielowalowe, silniki dwuprzepływowe, postępująca elektryfikacja i hybrydyzacja, paliwa syntetyczne oraz paliwo oparte na wodorze to jedne z pomysłów uczynienia lotnictwa bardziej przyjaznym dla środowiska. Jednak zjawiskiem, które jest interesującym kierunkiem rozwoju przyszłych napędów, jest detonacja. Silniki te zostały już zwiualizowane w poprzednim wieku, jednak braki technologiczne uniemożliwiły stworzenie poprawnie działającego napędu. Rozwój technologii CFD oraz powstanie nowych technologii wytwarzania i nowych materiałów o odpowiednich właściwościach pozwoliły zmaterializować powstanie tego napędu. Obecnie silniki oparte o detonację są z sukcesami testowane w różnych krajach na całym świecie, a amerykańska armia ma w planach wprowadzenie napędów opartych na detonacjach w drugiej połowie obecnego wieku. Czynnikiem najbardziej wyróżniającym te silniki jest bardzo wysoka teoretyczna sprawność termodynamiczna potrafiąca sięgać nawet 60%. Silnik opracowany przez NASA jest w stanie, wg wyliczeń inżynierów, obniżyć jednostkowe zużycie paliwa o 5%, co uznano za pewien przełom [2].

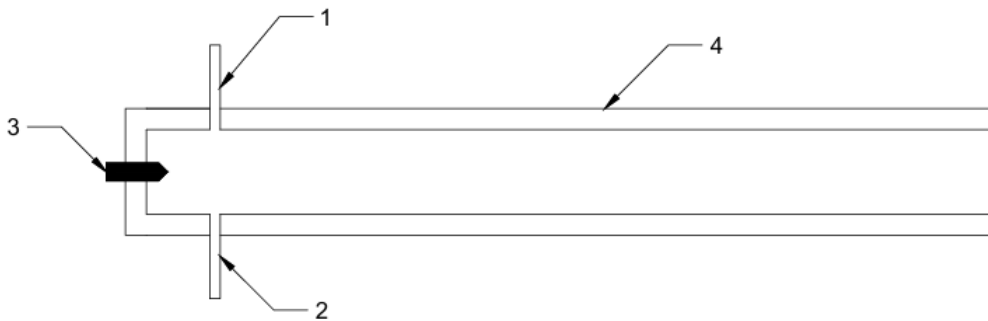
Tabela 1. Obliczona sprawność termodynamiczna dla różnych paliw i cykli termodynamicznych, opracowana na podstawie [3]

Paliwo	Obieg		
	Brayton, %	Humphrey, %	Fickett-Jacobs, %
wodór ( $H_2$ )	36,9	54,3	59,3
metan ( $CH_4$ )	31,4	50,5	53,2
acetylen ( $C_2H_2$ )	36,9	54,1	61,4



Rys. 2. Po lewej: bomba latająca V-1 (opracowanie własne), po prawej: zmodyfikowany Rutan Long-EZ napędzany pulsacyjnym silnikiem detonacyjnym (domena publiczna) [4]

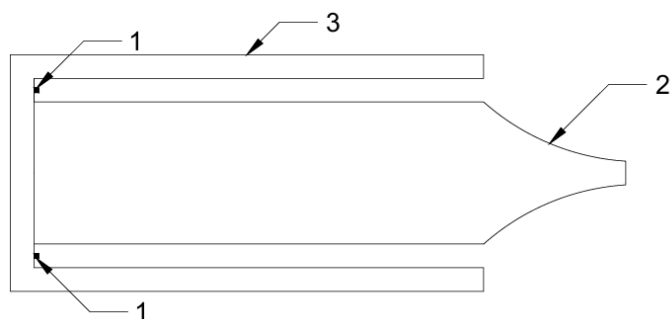
Wyróżnić możemy dwa podstawowe rodzaje napędów detonacyjnych: Pulsacyjny silnik detonacyjny (ang. *Pulse detonation engine* – PDE) oraz Rotacyjny silnik detonacyjny (ang. *Rotating detonation engine* – RDE). Pierwszy jest ewolucją silników pulsacyjnych, który jest technologią jeszcze z XX wieku. To wtedy ten napęd osiągnął swój szczyt użytkowania poprzez zastosowanie ich w bombach latających V1. Ze względu na swoją prostotę i krótki czas życia, wynoszący około 6 godzin, były idealnym napędem dla tego uzbrojenia. Różnica między silnikiem pulsacyjnym a PDE polega na odpowiednim przekonstruowaniu w celu zamiany sposobu spalania z deflagracji na detonację. Dzięki temu uzyskuje się większy ciąg oraz umożliwia to wykorzystanie PDE w lotach naddźwiękowych, których zwykle silniki pulsacyjne nie były w stanie wykonać. Sam napęd może składać się z pojedynczej komory spalania i rury wylotowej lub kilku komór i kilku rur wylotowych. To rozwiązanie niesie jednak pewne problemy, z czego głównym jest nieciągłe wytwarzanie ciągu, choć działanie tego silnika odbywa się z wysoką częstotliwością. Dotychczas powstały jedynie obiekty testowe i eksperymentalne.



Rys. 3. Schemat PDE (opracowanie własne).

Legenda: 1 – dolot powietrza, 2 – dolot paliwa, 3 – świeca zapłonowa, 4 – komora spalania

Silnik typu RDE jest ewolucją silnika PDE. W tym napędzie wykorzystuje się komorę pierścieniową, w której znajduje się wiele odpowiednio rozstawionych wtrysków paliwa i powietrza. Poprzez odpowiednie wystrojenie tego układu uzyskuje się detonację, której front propaguje wokół komory, spalając kolejne porcje mieszanki paliwowo-powietrznej. Dodatkowo, dzięki pierścieniowej komorze spalania, napęd ten idealnie nadaje się do wykorzystania dyszy typu aerospike. Jest to rozwiązanie szczególnie korzystne dla przemysłu kosmicznego, ponieważ ogranicza straty wynikające z konstruowania dyszy dzwonowej oraz lotnictwa, ponieważ nie ma konieczności stosowania dyszy regulowanej, co może umożliwić kolejną redukcję masy i uproszczenie konstrukcji. Jednak w tej konstrukcji również występują problemy. Wśród nich można wymienić duże temperatury oraz wysokie zmiany ciśnienia. Pierwszy z nich może doprowadzić do stopienia metalu i uszkodzenia silnika. Powstanie nowego materiału, który posiada wyższą temperaturę topnienia oraz wyższy współczynnik wymiany ciepła, pozwoliło na pokonanie tych przeszkód. Z kolei zmiany ciśnienia uniemożliwiały wykorzystanie konwencjonalnych zaworów dolotowych. Konstruktorzy postawili na zawory w kształcie zaworu Tesli, co wymagało wykorzystania technologii druku 3D.



Rys. 4. Schemat RDE (opracowanie własne).

Legenda: 1 – wtrysk mieszanki paliwowo-powietrznej, 2 – dysza aerospike, 3 – komora spalania

Obecnie największe postępy poczyniono w branży kosmicznej, gdzie przoduje NASA. Ich ostatni silnik testowany na początku 2023 roku był w stanie wytworzyć impuls o ciągu 44 kN. Wydaje się kwestią czasu, kiedy silniki detonacyjne również zostaną wdrożone w lotnictwie.



Rys. 5. Rotacyjny silnik detonacyjny [5]

## Podziękowania

Podziękowania kieruję w stronę moich rodziców oraz nauczycieli i wykładowców, których szeroko rozumiane wsparcie umożliwiło mi dotarcie do miejsca, w którym jestem obecnie, oraz wystąpienie na tej Konferencji.

## Literatura

- [1] Henderson R.P. et al., *Aircraft Conceptual Design for Optimal Environmental Performance*, 2012.
- [2] <https://aerospaceamerica.aiaa.org/departments/increasing-engine-efficiency/> [data pobrania: 14.05.2024].
- [3] Shaw I. J. et al., *A Theoretical Review of Rotating Detonation Engines*, Direct Numerical Simulations – An Introduction and Applications, 2021.
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse\\_detonation\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse_detonation_engine) [data pobrania: 21.05.2024].
- [5] Veeramaniandan L., *A Short Review on Efficiency of Rotating Detonation Engine*, 2023.

# SZTUKA TRANSFERU CIEPŁA: WSPÓŁCZESNE METODY WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA URZĄDZEŃ I PROCESÓW

## THE ART OF HEAT TRANSFER: CONTEMPORARY METHODS TO SUPPORT THE DESIGN OF DEVICES AND PROCESSES

Krzysztof Wiński

Symkom sp. z o.o. – ANSYS Channel Partner

Adres do korespondencji: [kwinski@symkom.pl](mailto:kwinski@symkom.pl)

Każde udane wdrożenie nowoczesnej technologii grzewczej zaczyna się od pomysłu – czasem niekonwencjonalnego, ale zawsze inspirowanego koniecznością rozwiązania konkretnego problemu. Proces ten, od pomysłu do gotowego produktu, jest skomplikowany i wymaga zaangażowania licznych specjalistów oraz zaawansowanych narzędzi.

Symkom, firma działająca na polskim rynku od 1997 roku, wspiera polskie przedsiębiorstwa i instytucje naukowe w realizacji ich innowacyjnych projektów. Jako partner ANSYS, Symkom dostarcza zaawansowane oprogramowanie do analiz numerycznych, oferując jednocześnie doradztwo, szkolenia i wsparcie techniczne na najwyższym poziomie.

W niniejszej prezentacji omówiono historyczne korzenie nowoczesnych technologii grzewczych – od starożytnych rzymskich systemów hypocaustum, poprzez ich zastosowanie w zamku w Malborku, aż po współczesne ogrzewanie podłogowe. Zrozumienie podziału i zastosowania różnych rodzajów wymienników ciepła jest kluczowe dla efektywnego projektowania. Szczególną uwagę poświęcono periodycznym powierzchniom minimalnym, które odgrywają kluczową rolę w projektowaniu efektywnych wymienników ciepła. Te struktury, dzięki swoim unikalnym właściwościom, maksymalizują transfer ciepła przy minimalnym użyciu materiałów. Omówiono również, jak nowoczesne technologie, takie jak drukowanie 3D, umożliwiają tworzenie zaawansowanych struktur żyroidalnych. Na podstawie przykładów zrealizowanych projektów zilustrowano, jak optymalizacja wymienników ciepła prowadzi do znacznej poprawy ich wydajności oraz redukcji rozmiarów i masy. Przedstawiono projekt firmy Ansys, gdzie przeprojektowanie wymiennika ciepła przyniosło imponujące rezultaty w zakresie efektywności energetycznej i kompaktowości. W końcowej części prezentacji uwaga zostanie skierowana na nowoczesne narzędzia, takie jak Ansys SimAI i Thermal Desktop, które rewolucjonizują proces projektowania i symulacji. Dzięki nim możliwe jest szybkie i dokładne tworzenie modeli termicznych, co jest nieocenione w wielu branżach.

Celem prezentacji jest ukazanie, jak wykorzystanie zaawansowanych narzędzi symulacyjnych przyczynia się do rozwoju nowoczesnych technologii grzewczych i efektywnych wymienników ciepła.





# TECHNOLOGIE NUKLEARNE W SEKTORZE TRANSPORTU WODNEGO

## NUCLEAR TECHNOLOGIES IN WATER TRANSPORTATION SECTOR

Daria Wolniak, Kacper Kasprzak

Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [260894@student.pwr.edu.pl](mailto:260894@student.pwr.edu.pl)

Transport morski jest ważnym elementem handlu transgranicznego i odgrywa kluczową rolę w rozwoju gospodarczym, a więc i dobrobycie społeczeństwa. Szacuje się, że przemysł żeglugowy obsługuje 80% globalnego handlu [1]. Do pokrycia zapotrzebowania na energię w tym sektorze zużywa się ogromne ilości paliw kopalnych, a jego udział w globalnej emisji CO<sub>2</sub> do otoczenia wynosi 3% [1, 4]. Rozwój nowoczesnych technologii jądrowych takich jak modułowe reaktory jądrowe (SMR) i reaktory na stopioną sól (MSR) umożliwi energetyce jądrowej szersze zastosowanie i zwiększenie społecznej akceptacji na jej wykorzystywanie. Energia jądrowa może być źródłem energii do produkcji paliw alternatywnych takich jak metanol, amoniak i wodór, które mogą pomóc w ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych przez przemysł żeglugowy, jednak podczas Konferencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, okrętowy napęd jądrowy został uznany za obiecujące rozwiązanie zarówno pod względem zeroemisyjności, jak i kosztów paliwa i wydajności [2, 3, 12].

Obecnie na świecie działa około 200 reaktorów jądrowych na 160 statkach, głównie okrętach wojennych i łodziach podwodnych. Swoją początek okrętowy napęd jądrowy znajduje podczas okresu wojennego, pierwsza łódź podwodna USS Nautilus wypłynęła na morze w 1955 roku i była zdolna przepłynąć 10 razy dłuższy czas niż jakikolwiek inny okręt podwodny eksploatowany dotychczas. To wydarzenie zapoczątkowało dalszy rozwój technologii stosowanych w łodziach podwodnych wykorzystujących pojedyncze reaktory wodne ciśnieniowe PWR oraz gwałtowny wzrost liczności takich okrętów na całym świecie. W ślad Marynarki Wojennej USA poszły takie kraje, jak Rosja, Anglia i Francja. Pod koniec zimnej wojny, w 1989 roku, było ponad 400 okrętów podwodnych o napędzie nuklearnym, operacyjnych lub w trakcie budowy. Co najmniej 300 z tych okrętów zostało już zezłomowanych, a niektóre zamówienia anulowano z powodu programów redukcji zbrojeń [11].

Pojawienie się napędu jądrowego stało się fundamentem w dziedzinie morskich przedsięwzięć, szczególnie na arktycznych terenach Rosji. W tym wymagającym środowisku, gdzie lód może osiągać grubość nawet do 3 metrów, a tankowanie stanowi olbrzymie przeszkody dla konwencjonalnych statków, napęd jądrowy staje się symbolem innowacji i odporności [6, 11]. Okręty o napędzie jądrowym charakteryzują się dużymi mocami oraz nie wymagają częstego tankowania, co okazało się kluczowe w niesprzyjających pustkowiach Arktyki. Wprowadzenie tego rodzaju napędu zapoczątkowało



nową erę w eksploracji tego regionu i umożliwiło wydłużenie służby okrętów z 2 do nawet 12 miesięcy [6].

Wybudowany w 1959 roku radziecki okręt „Lenin”, wyposażony w 3 reaktory OK-150 o łącznej mocy 28,8 MW był pierwszym na świecie lodolamaczem, a zarazem pierwszym na świecie okrętem nawodnym o napędzie jądrowym. Służył 30 lat, jednak w latach 70 XX wieku podjęto decyzję, aby wymienić w nim reaktory na nowe (OK-900). Jego znakomita funkcjonalność spowodowała chęć poszerzania swojej floty przez Związek Radziecki oraz postępu w celu budowy jeszcze większych jednostek. W związku z czym w 1975 powstała „Arktika” – radziecki lodolamacz, wyposażony w dwa reaktory (również OK-900) o całkowitej mocy 56 MW, który jako pierwszy statek nawodny dotarł w 1977 roku na biegun północny [11]. Okres eksploatacji większości statków klasy Arktika został wydłużony w oparciu o wiedzę inżynierską zdobytą na podstawie doświadczeń z samą Arktika. Pierwotnie projektowano go na 100 tys. godzin pracy reaktora, ale wydłużono go najpierw do 150 tys., a następnie do 175 tys. godzin. W praktyce oznaczało to osiem dodatkowych lat eksploatacji poza okresem projektowym wynoszącym 25. W tym czasie Arktika przepłynęła ponad 1 milion mil morskich [10].
















Wykorzystanie napędu jądrowego w żegludze znalazło zastosowanie również w statkach towarowych. Zrezygnowano z eksploatacji takich okrętów na rzecz silników wysokoprężnych ze względu na problematykę składowania odpadów radioaktywnych, jak i większą atrakcyjność wykorzystania paliw kopalnych względem napędów nuklearnych pod kątem opłacalności. Amerykański statek NS Savannah o wyporności 22 tys. ton został oddany do użytku w 1962 roku i wycofany ze służby osiem lat później [5]. Był to sukces techniczny, ale nie był ekonomicznie opłacalny.

Jednak wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na czystsze technologie napęd jądrowy ponownie znajduje się w centrum uwagi rządów i wiodących firm w przemyśle morskim. Na przykład amerykańska firma TerraPower projektuje „następną generację” elektrowni jądrowych i bada ich zastosowanie do napędu statków handlowych [11]. Brytyjska firma Core Power została założona w 2018 roku, aby opracować zaawansowane technologie reaktorów jądrowych używanych w transporcie morskim [11]. Chiny planują rozwój atomowych lodolamaczy wsparcia morskiego oraz rozmieszczenie dwudziestu pływających elektrowni jądrowych w Morzu Południowochińskim [10]. Samsung Heavy Industries, gigant koreańskiego przemysłu stoczniowego, ogłosił, że połączy siły z Koreańskim Instytutem Badań Energii Jądrowej, aby wspólnie opracować reaktory na ciekłej soli do napędu morskiego. Japońskie firmy stoczniowe oraz Det Norske Veritas (DNV) ukończyły koncepcyjny projekt ogromnego kontenerowca o pojemności 20 000 TEU wyposażonego w reaktor termojądrowy [11]. Niektóre kraje rozpoczęły prace nad ustawodawstwem dotyczącym statków handlowych napędzanych energią jądrową. Na przykład Wielka Brytania uchwaliła w 2022 roku przepisy regulujące statki handlowe napędzane energią jądrową.

Zeroemisyjność nie jest jednak jedyną motywacją do wdrożenia napędu jądrowego w okrętach komercyjnych, ponieważ jego znaczącą przewagą na tle silników konwencjonalnych jest możliwość pracy przez bardzo długi czas bez konieczności tankowania przy osiąganiu większych prędkości [11]. Ilość energii pochodzącej z reakcji rozszczepienia uranu na jednostkę masy jest większa niż w jakimkolwiek innym paliwie. Nowoczesne okręty podwodne są potężnymi maszynami, które potrafią przepłynąć pod powierzchnią wody 740 tys. km przy prędkości 40–70 km/h, zużywając zaledwie

5 kg paliwa jądrowego. Mogą nie wynurzać się przez prawie rok, gdyż są samowystarczalne pod względem dostaw tlenu i wody pitnej dla załogi obsługującej łódź [8]. Dla porównania, łodzie podwodne napędzane olejem napędowym korzystają z akumulatorów i pokonują dystans pod wodą tylko przez kilka dni przy niskich prędkościach lub kilka godzin osiągając maksymalną prędkość [11]. Dzięki tak korzystnemu stosunkowi masy paliwa do generowanej energii, okręty z napędem nuklearnym mogą przepłynąć dłuższą trasę, przewożąc większy ładunek. W porównaniu do swojego odpowiednika z silnikiem Diesla, lotniskowiec o napędzie atomowym jest w stanie zabrać na pokład dwukrotnie większą ilość paliwa, o 30 procent więcej broni i ok. 8500 m<sup>3</sup> dodatkowej przestrzeni, zaoszczędzonej na dużych zbiornikach paliwa, wlotach powietrza i kanałach wydechowych [5].

Tabela 1. Rozwój statków o napędzie jądrowym

	Nazwa	Kraj	Lata służby	Typ
	Lenin	Związek Radziecki	1959-1989	Lodolamacz
	NS Savannah	Stany Zjednoczone	1962-1972	Statek towarowy
	Otto Hahn	Niemcy	1968-1979	Statek towarowy oraz badawczy
	Mutsu	Japonia	1974-1992	Statek towarowy
	Arktika	Rosja	1975-2008	Lodolamacz
	Sibir	Rosja	1977-1992	Lodolamacz
	Rossyia	Rosja	1985-2013	Lodolamacz
	Sevmorput	Rosja	1988-w służbie	Lodolamacz
	Sovetskiy Soyuz	Rosja	1989-2014	Lodolamacz
	Taimyr	Rosja	1989-w służbie	Lodolamacz
	Vaygach	Rosja	1990-w służbie	Lodolamacz
	Yamal	Rosja	1992-w służbie	Lodolamacz
	50 Let Pobedy	Rosja	2007-w służbie	Lodolamacz
	Arktika	Rosja	2020-w służbie	Lodolamacz
	Sibir	Rosja	2021-w służbie	Lodolamacz

Zasada działania reaktorów PWR znajdujących się na okrętach morskich nie różni się bardzo od tej, będącej podstawą elektrowni jądrowych na lądzie. Ciepło wydzielane w rdzeniu reaktora odbierane jest przez chłodziwo. Sam reaktor jednak jest znacznie mniejszy w związku z ograniczeniami doty-

czącymi objętości i masy w żegludze. Moc reaktorów konwencjonalnych elektrowni osiąga tysiące megawatów, natomiast moc znamionowa reaktorów do napędu morskiego wynosi około kilkuset megawatów. Następnie gorące medium trafia do wymiennika ciepła, gdzie podgrzewa wodę, tworząc parę wodną, która napędza turbinę parową. SMR-y stosowane w napędach okrętowych dostarczają dużo mocy z bardzo małej objętości i dlatego wykorzystują wysoko wzbogacony uran. Paliwo wygląda inaczej niż to stosowane w elektrowniach jądrowych. Zamiast pastylek z tlenku uranu stosuje się stop uranu z cyrkonem lub uranu z aluminium. Reaktory mają długą żywotność rdzeni, więc potrzeba tankowania występuje tylko co 10 lub więcej lat, a nowe rdzenie są zaprojektowane, aby wytrzymać 50 lat na lotniskowcach i 30–40 lat na okrętach podwodnych [9].

## Literatura

- [1] Aakko-Saksa P.T., Lehtoranta K., *Reduction in greenhouse gas and other emissions from ship engines: Current trends and future options*, “Progress in Energy and Combustion Science” 2023, Vol. 94, No. 1, p. 12, doi: 12.3456/joue1234567.
- [2] Wang Q. et al., *Using Nuclear Energy for Maritime Decarbonization and Related Environmental Challenges: Existing Regulatory Shortcomings and Improvements*, “Int. J. Environ. Res. Public Health” 2023, Vol. 20, No. 4, 2993, <https://doi.org/10.3390/ijerph20042993>
- [3] Adumene S. et al., *Advances in nuclear power system design and fault-based condition monitoring towards safety of nuclear-powered ships*, “Ocean Engineering” 2022, Vol. 251, 111156.
- [4] Bhattacharyya R., *Climate action for the shipping industry: Some perspectives on the role of nuclear power in maritime decarbonization*, “e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy” 2023, Vol. 4, 100132.
- [5] <https://www.infomare.pl/morskie-historie-okrety-z-napedem-jadrowym-czesc-i/> [dostęp: maj 2024].
- [6] <https://infomare.pl/statki-z-napedem-atomowym-cz-ii/> (dostęp: maj 2024).
- [7] <https://www.infomare.pl/ziemowit-sokolowski-naped-atomowo-turboparowy/> [dostęp: maj 2024].
- [8] Hore-Lacy I., *Nuclear Energy in the 21st Century*, 2007.
- [9] Vogt D.K., *Encyclopedia of Energy, Nuclear Fission Reactors: Boiling Water and Pressurized Water Reactors*, 2004.
- [10] <https://nukleo.pl/rozdzial/reaktory-jadrowe-na-okretach-podwodnych-i-statkach/> [dostęp: maj 2024].
- [11] <https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/transport/nuclear-powered-ships#future-prospects> [dostęp: maj 2024].
- [12] Grzybowski M., *Reaktory na statki. W poszukiwaniu zeroemisyjności*, 2023.

# BADANIA EKSPERYMENTALNE WOLNOBIEŻNEJ POMPY WIROWEJ Z WIRNIKIEM OTWOROWYM

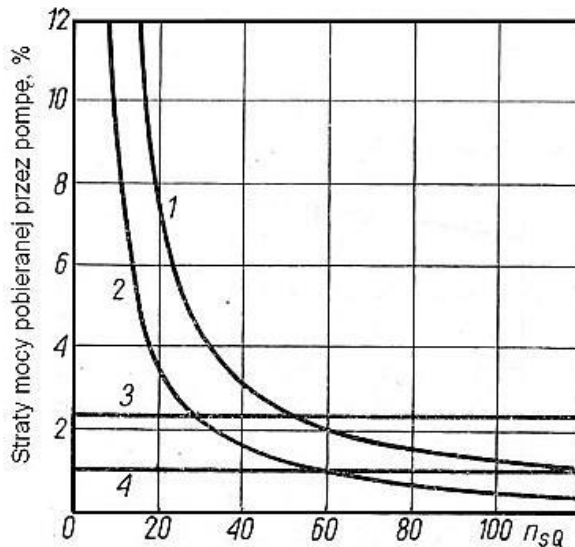
## EXPERIMENTAL STUDY OF A LOW SPECIFIC SPEED CENTRIFUGAL PUMP WITH DRILLED IMPELLER

Filip Zaręba, Przemysław Szulc, Aneta Nycz

Katedra Inżynierii Konwersji Energii, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [filipzareba6@gmail.com](mailto:filipzareba6@gmail.com)

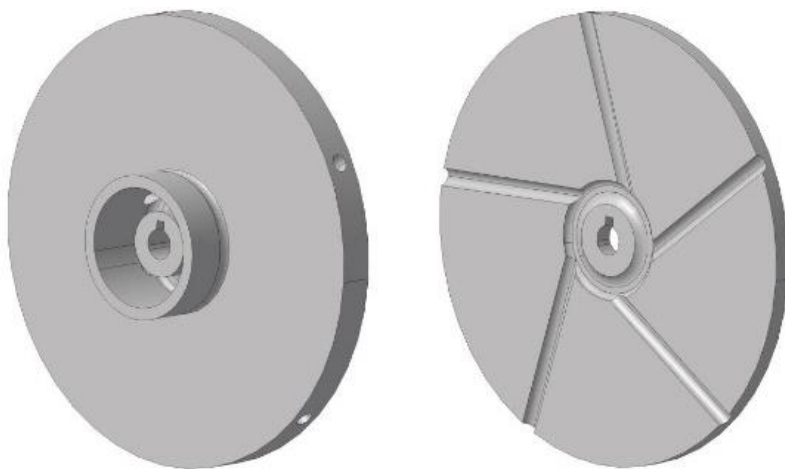
Pompy, jako bardzo różnorodna grupa maszyn roboczych, są wykorzystywane praktycznie we wszystkich sektorach gospodarki. Nie bez znaczenia pozostaje ich energochłonność, stanowiąc wyzwanie dla projektantów. Ma to odzwierciedlenie w udoskonalaniu istniejących rozwiązań układów przepływowych oraz sposobów sterowania pracą pomp.



Rys. 1. Straty w pomie wirowej w funkcji wyróżnika szybkoobrotowości: 1 – straty tarcia tarcz wirujących, 2 – straty objętościowe, 3 – straty hydrauliczne, 4 – straty mechaniczne [1, 2]

Mnogość typów konstrukcji pompowych wynika przede wszystkim z szerokiego zakresu zastosowań i zróżnicowanych parametrów pracy. Wśród pomp wirowych najpowszechniej stosowane są pompy krętne. Osiągają one największe sprawności dla konstrukcji charakteryzujących się dużą wydajnością oraz wyróżnikiem szybkoobrotowości w zakresie  $n_q = 40\text{--}50$ . Problem w zastosowaniu tej grupy maszyn w instalacjach pompowych pojawia się w przypadku, gdy w układzie wymagana jest jednostka o dużej wysokości podnoszenia  $H$  i małej wydajności  $Q$ , a więc konstrukcji o bardzo niskim wyróżniku szybkoobrotowości ( $n_Q < 10$ ).

Wynika to z niskiej efektywności energetycznej procesu tłoczenia cieczy, ponieważ wraz z malejącą wartością wyróżnika szybkoobrotowości, sprawność całkowita spada, co spowodowane jest rosnącymi wykładniczo stratami: tarcia tarcz wirujących oraz wolumetryczną [1, 2] – rys. 1. W instalacjach wymagających dużych wysokości podnoszenia przy niskich wydajnościach, zamiast pomp krętnych, stosuje się inne rozwiązania konstrukcyjne takie jak pompy krążeniowe lub wyporowe. Głównymi wadami tego rodzaju pomp są: pulsacje parametrów charakterystycznych, tarcie pomiędzy współpracującymi elementami czy wrażliwość na zanieczyszczenia stałe. W wielu przypadkach eliminuje to możliwość ich aplikacji, stąd poszukiwane są nowe konstrukcje pomp wolnoobrotowych, przetłaczające ciecz przy akceptowalnych poziomach sprawności.



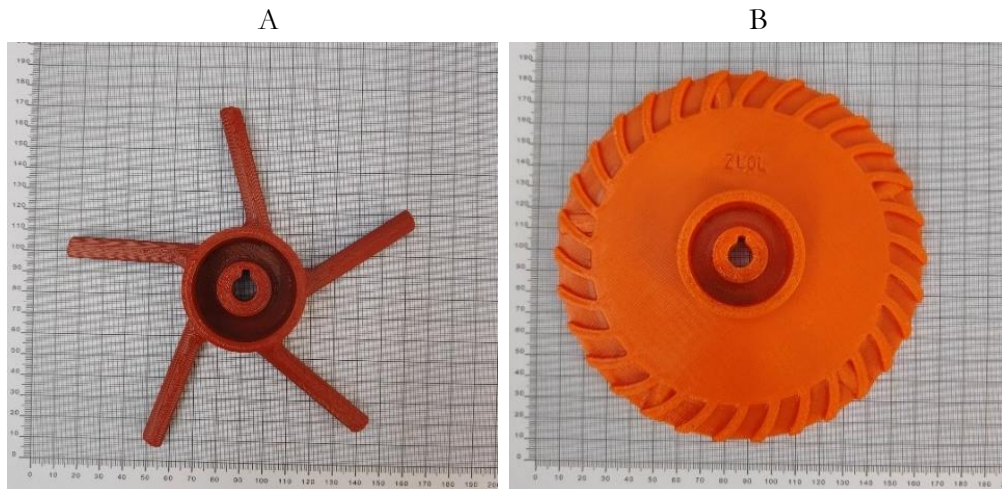
Rys. 2. Model wirnika otworowego

Pompy z wirnikami otworowymi są przykładem rozwiązania konstrukcyjnego pompy krętniej, pracującej w zakresie niskich wyróżników szybkoobrotowości. Ich budowa przypomina klasyczne wirniki zamknięte, ale kanałami przepływowymi są nawiercone otwory. Model geometryczny wirnika otworowego przedstawiono na rys. 2. Wirniki otworowe są znacznie prostsze i tańsze w produkcji w porównaniu z klasycznymi wirnikami posiadającymi łopatki.

Innowacyjnym rozwiązaniem w konstrukcji wolnoobrotowych pomp wirowych jest zastosowanie wirnika hybrydowego, którego sposób działania i proces roboczy nie jest w pełni rozpoznany. Wirnik ten jest połączeniem geometrii wirnika, np. odśrodkowego oraz wirnika należącego do grupy pomp

krażeniowych. W wirniku hybrydowym konwersja energii mechanicznej w hydrauliczną realizowana jest poprzez zwiększanie krętu, a także wskutek krążenia cieczy. Prowadzi to do uzyskania lepszych własności energetycznych pompy, zwłaszcza wysokości podnoszenia oraz niekiedy sprawności [3, 4].

W celu zbadania wpływu zastosowania hybrydowych wirników na parametry pracy wolnobieźnej pompy wirowej przeprowadzono badania eksperymentalne. Otrzymane wyniki zestawiono z uzyskanymi dla referencyjnego wirnika otworowego (rys. 2). Wyznaczono charakterystyki energetyczne badanej pompy dla różnych geometrii wirników.



Rys. 3. Wybrane wirniki hybrydowe dedykowane do badań:  
A) rurowy, B) otworowy, z łukowymi łopatkami krążeniowymi

Dokonano analizy ilościowej wyników oraz porównano charakterystyki energetyczne dla poszczególnych wirników. Interpretacja parametrów pracy pomp z hybrydowym wirnikiem wskazuje na pozytywny wpływ na zwiększenie wysokości podnoszenia  $H$  oraz sprawności  $\eta$ . Dodatkowo wskazano potencjalne kierunki dalszych prac.

## Literatura

- [1] Jedral W., *Efektywne energetycznie układy pompowe*, Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2018.
- [2] Gulich J. F., *Centrifugal pumps*, Springer, Berlin–Heidelberg–New York 2008.
- [3] Jedral W., *Pompy wirowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
- [4] Verchola M., *Špeciálne hydrodynamické čerpadlá*, Vydavateľstvo STU, 2017.
- [5] Skrzypacz J., *Numerical modelling of flow phenomena in a pump with a multi-piped impeller*, “Chemical Engineering and Processing: Process Intensification” 2013, Vol. 75, pp. 58–66.
- [6] Salimi A. et al., *Multi-objective optimization of a regenerative pump with S-shaped impeller using response methodology*, “International Communications in Heat and Mass Transfer” 2023, Vol. 143, 106734.





# SAMOCOHODY ELEKTRYCZNE A REDUKCJA EMISJI CO<sub>2</sub>: ANALIZA CYKLU ŻYCIA POJAZDU

## ELECTRIC CARS AND REDUCING CO<sub>2</sub> EMISSIONS: VEHICLE LIFE CYCLE ANALYSIS

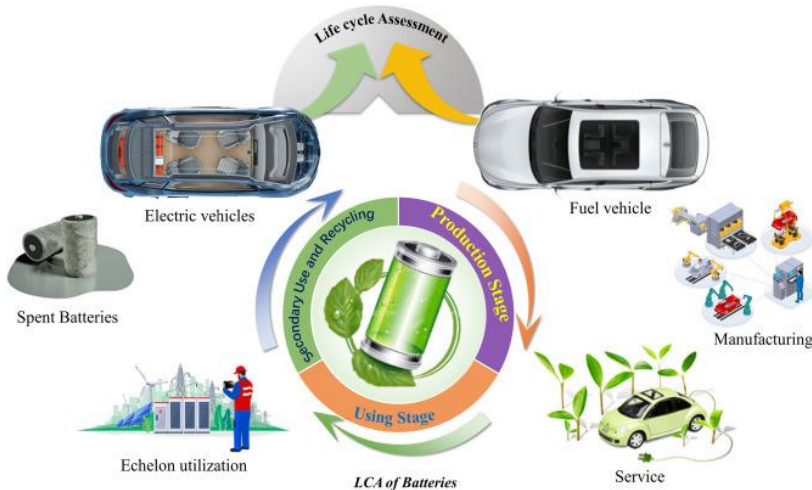
Wiktoria Zarówna

Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: 260903@student.pwr.edu.pl

Wraz z coraz większą świadomością ekologiczną społeczeństwa oraz rosnącymi obawami dotyczącymi zmian klimatycznych, samochody elektryczne stają się coraz bardziej popularną alternatywą dla pojazdów spalinowych. Jednym z kluczowych argumentów przemawiających na korzyść samochodów elektrycznych jest ich potencjał redukcji emisji CO<sub>2</sub> w porównaniu do tradycyjnych pojazdów z silnikami spalinowymi. Warto jednak zwrócić uwagę, że na ilość produkcji dwutlenku węgla nie składa się tylko okres użytkowania auta, lecz także produkcji i utylizacji.

Analiza cyklu życia (ang. *Life Cycle Assessment* – LCA) jest metodą oceny wpływu produktu na środowisko na przestrzeni całego jego cyklu życia, począwszy od pozyskania surowców, przez produkcję, użytkowanie, aż po utylizację. W przypadku samochodów elektrycznych, LCA obejmuje również analizę produkcji baterii, infrastruktury ładowania oraz zarządzania odpadami.



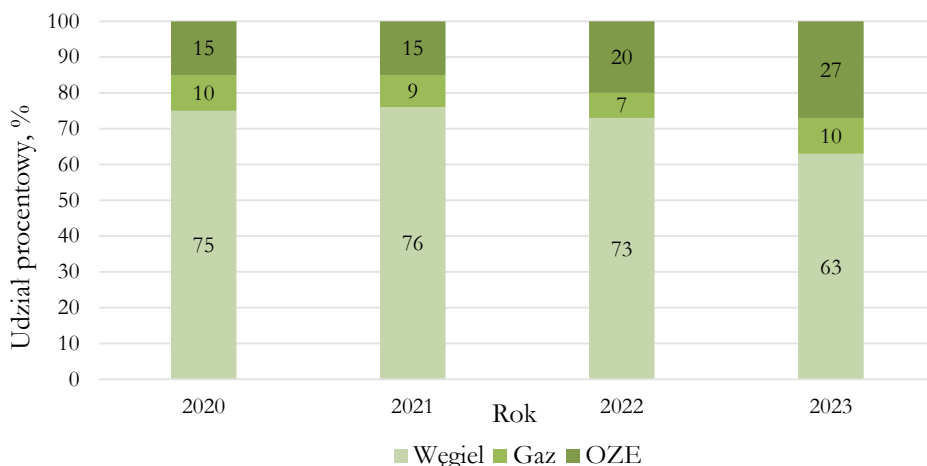
Rys. 1. Graficzne porównanie cyklu życia pojazdów elektrycznych a spalinowych [1]



Pierwszy etap cyklu życia samochodów elektrycznych obejmuje wydobycie surowców, takich jak lit, kobalt, nikiel i grafit, które są niezbędne do produkcji baterii litowo-jonowych. Proces wydobycia i przetwarzania tych materiałów jest energochłonny i generuje znaczne emisje CO<sub>2</sub>. Produkcja samych baterii również wiąże się z wysokimi emisjami ze względu na skomplikowane procesy chemiczne i wysokie zużycie energii. Warto jednak zauważyć, że technologia produkcji baterii szybko się rozwija, a innowacje w tej dziedzinie mogą prowadzić do znacznego zmniejszenia emisji w przyszłości.

Po wyprodukowaniu baterii następuje montaż pojazdu. Proces ten obejmuje produkcję i montaż karoserii, podwozia, systemów napędowych oraz instalację baterii i systemów zarządzania energią. Choć sam montaż samochodów elektrycznych jest mniej złożony niż w przypadku pojazdów spalinowych, nadal wymaga znacznych nakładów energii i generuje emisje.

Podczas eksploatacji samochody elektryczne charakteryzują się znacznie niższymi emisjami CO<sub>2</sub> w porównaniu do pojazdów spalinowych. Elektryczne układy napędowe nie emitują spalin, a rzeczywiste emisje zależą głównie od źródła energii używanej do ładowania baterii. W krajach, gdzie energia elektryczna pochodzi w dużej mierze ze źródeł odnawialnych, samochody elektryczne mogą niemal całkowicie wyeliminować emisje związane z użytkowaniem. W Polsce według danych Polskich Sieci Elektroenergetycznych udział poszczególnych typów elektrowni w produkcji energii elektrycznej na przestrzeni ostatnich 4 lat przedstawiał się jak na rys. 2.



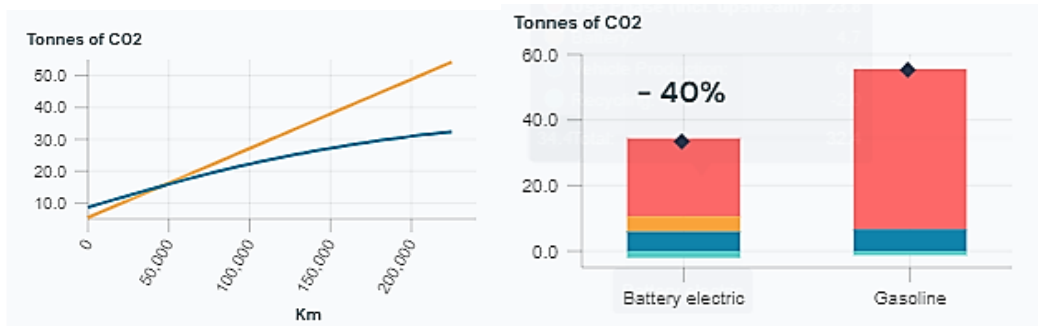
Rys. 2. Struktura produkcji energii elektrycznej w Polsce [2]

Zatem mimo obiecującej perspektywy pojazdów elektrycznych, na obecny moment większość energii do ładowania ich pochodzi właśnie z paliw kopalnych.

Faza końca życia pojazdu jest kluczowa dla minimalizacji wpływu na środowisko. Recykling baterii i innych komponentów samochodów elektrycznych pozwala na odzyskiwanie cennych surowców i zmniejszenie emisji związanych z produkcją nowych materiałów. Efektywne metody recyklingu mogą znacznie zmniejszyć całkowite emisje CO<sub>2</sub> związane z cyklem życia EV (ang. *electric vehicles*).

Choć produkcja samochodów elektrycznych wiąże się z wyższymi początkowymi emisjami CO<sub>2</sub>, analizy cyklu życia wskazują, że całkowite emisje w dłuższej perspektywie są znacznie niższe niż w przypadku pojazdów spalinowych. Kluczowym czynnikiem jest tutaj miks energetyczny – im większy udział odnawialnych źródeł energii w produkcji prądu, tym większe korzyści środowiskowe przynoszą EV.

Aby zwiększać świadomość ludzi, istnieją różnego rodzaju kalkulatory porównujące emisje CO<sub>2</sub> aut elektrycznych wraz ze spalinowymi. Według jednego z nich, w najgorszym przypadku samochód elektryczny z akumulatorem wyprodukowanym w Chinach i napędzany w Polsce nadal emituje o 37% mniej CO<sub>2</sub> niż benzynowy. Najlepszym przypadkiem zaś jest samochód elektryczny z akumulatorem wyprodukowanym w Szwecji i napędzany w Szwecji, który może emitować o 83% mniej. Predykcje wskazują również, że samochody elektryczne zakupione w 2030 r. zmniejszą emisję CO<sub>2</sub> czterokrotnie dzięki unijnej sieci energetycznej, która w coraz większym stopniu opiera się na odnawialnych źródłach energii [3].



Rys. 3. Porównanie emitowanego CO<sub>2</sub> przez auta użytkowane w Polsce o napędzie elektrycznym i spalinowym o średnim rozmiarze (np. Volkswagen Golf) [3]

Samochody elektryczne mają potencjał do znaczącej redukcji emisji CO<sub>2</sub>, co jest kluczowe dla osiągnięcia globalnych celów klimatycznych. Jednak pełne wykorzystanie ich korzyści wymaga dalszego rozwoju technologii baterii, efektywnego recyklingu oraz zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji prądu. Inwestycje w infrastrukturę ładowania i innowacje w dziedzinie magazynowania energii również będą kluczowe dla przyszłości elektromobilności.

## Literatura

- [1] Xia X., Li P., *A review of the life cycle assessment of electric vehicles: Considering the influence of batteries*, School of Economics and Business Administration, Chongqing University.
- [2] <https://www.pse.pl/home> [dostęp: 6.01.2024].
- [3] <https://www.transportenvironment.org/articles/how-clean-are-electric-cars> [dostęp: 26.05.2024].



**MANUSCRIPTS  
IN ENGLISH**



# THE APPLICATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR PREDICTING COMPOST QUALITY

## ZASTOSOWANIE ALGORYTMÓW UCZENIA MASZYNOWEGO DO PRZEWIDYWANIA JAKOŚCI KOMPOSTU

Andi Azizah, Arkadiusz Szydelko, Wojciech Moron

Faculty of Mechanical and Power Engineering, Wrocław University of Science and Technology

Adres do korespondencji: [andi.azizah@pwr.edu.pl](mailto:andi.azizah@pwr.edu.pl)

The growth of population and industrialization in the world increases food consumption, leading to the higher production of biowaste. Biowaste is mainly disposed in landfill, causing several problems such as greenhouse gas emissions, leachate formation, odorous emissions, and infectious diseases due to the growth of pathogens. Composting is one of the most selective solutions to minimize the negative impacts of biowaste abundance. The method recycles valuable nutrients and organic matters from biowaste to useful products such as fertilizer or soil improver.

In recent years, machine learning algorithms have been widely implemented on composting processes. Statistical to advance models were applied to ensure that the final product meets the quality standards (mature and stable compost). There are regression model, models based on decision tree, classifier models, and artificial neural networks. Regression technique aims to predict compost quality based on initial or processing conditions [1, 2]. Classification algorithms were employed to identify the maturity level of compost using image processing [3, 4].

The application of machine learning significantly contributes to the enhancement of composting different types of biowaste. The algorithms can accurately predict variables related to compost maturity [5–7] and stability [7, 8]. The selection of indicators for evaluating the composting process can be extended to include additional indicators depending on the purpose (area of use) of the compost. The development of a proper machine-learning algorithm gives a management tool for the composting process. Such a tool allows the selection of the crucial composting process parameters (i.e. moisture content, temperature, amount of air for aeration) for any bio-waste. Ensuring that the final product will be of high quality.

## Literatura

- [1] Li Y. et al., *Prediction of composting maturity and identification of critical parameters for green waste compost using machine learning*, “Bioresour. Technol.” 2023, Vol. 385, 129444, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129444>



- [2] Shen G. et al., *Quantitative analysis of index factors in agricultural compost by infrared spectroscopy*, “Heliyon” 2023, Vol. 9, No. 3, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14010.
- [3] Sangeetha J., Govindarajan P., *Prediction of agricultural waste compost maturity using fast regions with convolutional neural network (R-CNN)*, “Mater. Today Proc.” 2023, pp. 1–6, doi: 10.1016/j.matpr.2023.01.112
- [4] Kujawa S. et al., *Using convolutional neural networks to classify the maturity of compost based on sewage sludge and rapeseed straw*, “J. Clean. Prod.” 2020, Vol. 258, p. 120814, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120814>
- [5] Ding S. et al., *Improving kitchen waste composting maturity by optimizing the processing parameters based on machine learning model*, “Bioresour. Technol.” 2022, Vol. 360, 127606, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127606>
- [6] Bayındır Y. et al., *Evaluation of a cascade artificial neural network for modeling and optimization of process parameters in co-composting of cattle manure and municipal solid waste*, “J. Environ. Manage.” 2022, Vol. 318, 115496, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115496>
- [7] Aycan Dumenci N. et al., *Identifying the maturity of co-compost of olive mill waste and natural mineral materials: Modelling via ANN and multi-objective optimization*, “Bioresour. Technol.” 2021, Vol. 338, 125516, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125516>
- [8] Yılmaz E.C. et al., *Modeling and optimization of process parameters in co-composting of tea waste and food waste: Radial basis function neural networks and genetic algorithm*, “Bioresour. Technol.” 2022, Vol. 363, 127910, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127910>



# APPLICATION OF TWO-PHASE VOLUMETRIC EXPANDERS IN WASTE ENERGY RECOVERY SYSTEMS

## ZASTOSOWANIE DWUFAZOWYCH MASZYN OBJĘTOŚCIOWYCH W SYSTEMACH ODZYSKU ENERGII ODPADOWEJ

Szymon Lech, Piotr Kolasiński

Wroclaw University of Science and Technology, Department of Thermodynamics  
and Renewable Energy Sources, Wroclaw, Poland

Adres do korespondencji: [szymon.lech@pwr.edu.pl](mailto:szymon.lech@pwr.edu.pl)

The increasing demand for energy around the world, combined with the need to reduce the impact of human activities on the natural environment, is leading to an intensive search for more efficient energy conversion technologies [1]. Waste energy recovery, understood as the processing of unused energy, for example, from industrial processes (e.g., waste heat), is becoming a key aspect in the sustainable development strategy. Technologies that enable the use of waste energy contribute to the reduction of energy losses by increasing the overall efficiency of processes.

Expansion machines are the potential technologies that can be used in waste energy recovery processes. Expansion processes that produce electrical or mechanical energy using fluid pressure energy are attractive solutions for many energy systems [2]. Depending on the principle of operation, the expansion machines can be classified as volumetric or dynamic (Fig. 1). Volumetric machines directly use fluid pressure to move the shaft of machine and thus increase the volume of the working chamber. In contrast, rotodynamic machines (i.e., turbines), operate by converting fluid pressure into kinetic energy needed to drive a rotor which is connected to a shaft [3]. For small-scale turbine applications (i.e., below 100 kW), their applicability becomes limited [2]. This is due to the increase in shaft rotational speeds and high production costs of small machines. Therefore, volumetric machines can be applied on small scales due to their lower rotational speeds, higher pressure ratios, limited mass flow rates of the working fluid, and lower costs. In addition, unlike turbines, volumetric machines have a higher resistance for the quality of working fluids and their phase, which gives them ability to operate in the two-phase conditions [2].

The literature describes different applications of two-phase expanders. Their scope of application mainly includes the replacement of pressure-reducing valves in several industrial processes (e.g., throttling of steam, flash steam geothermal power plants, and natural gas transport). These machines can also be used as replacement of throttle valves in steam compression systems used in refrigeration and

air conditioning and implemented in advanced thermodynamic cycles (e.g., the trilateral flash cycle, Smith cycle, organic double-flash cycle, wet-vapour ORC and combined cooling, heating and power), in high temperature heat pumps and in Carnot batteries [2, 4].




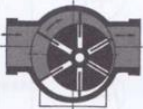
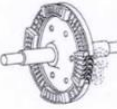


Volumetric expanders				Dynamic expanders		
						
Piston	Screw	Scroll	Vane	Axial	Cantilever	Radial

Fig. 1. Different types of expanders [3]

Based on the literature review on two-phase volumetric machines, it can be seen that their application potential is significant, especially in the context of the efficient use of waste heat and other low-temperature energy sources. Further research in this area could bring significant benefits in the future. The continued development and optimisation of two-phase expanders could lead to more efficient and cost-effective solutions for the industrial and energy sectors.

The literature review indicates the need to intensify research in the field of thermodynamic instabilities modelling and to increase the number of experimental studies. Such activities will lead to a deeper understanding of the physical processes that occur in two-phase expanders and the development of new, more effective models that could be used in industrial practice. Development of a solid theoretical foundation and experimental verification are key steps towards the practical application of these technologies, which can significantly contribute to sustainable development and more efficient use of available energy resources.

In conclusion, literature review proves that the continuation of research on two-phase volumetric expanders is becoming more and more justified, and their development and implementation can play an important role in achieving goals related to energy efficiency and reducing the negative impact of human activities on the natural environment.

## Literatura

- [1] IEA, *Energy Efficiency 2023 – Analysis*, <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023> [access: 11.05.2024].
- [2] Francesconi M. et al., *A Review on Two-Phase Volumetric Expanders and Their Applications*, “Appl. Sci.” 2022, Vol. 12, No. 20, 20, doi: 10.3390/app122010328
- [3] Weiß A.P., *Volumetric expander versus turbine – which is the better choice for small ORC plants?*, 2015.
- [4] van Heule X. et al., *Two-Phase Volumetric Expanders: A Review of the State-of-the-Art*, “Energies” 2022, Vol. 15, No. 14, 14, doi: 10.3390/en15144991

# MODERN PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGIES – PEROVSKITE AND CONCENTRATING PHOTOVOLTAICS

## PRZEGLĄD NOWOCZESNYCH TECHNOLOGII FOTOWOLTAICZNYCH: PEROVSKITOWE I SKONCENTROWANE OGNIWA SŁONECZNE

Jakub Ogrodowczyk, Paweł Wyróślak

Faculty of Electronics, Photonics and Microsystems, Wrocław University of Science and Technology  
Student Association PWr Solar Boat Team, Faculty of Mechanical and Power Engineering,  
Wrocław University of Science and Technology

Adres do korespondencji: [260098@student.pwr.edu.pl](mailto:260098@student.pwr.edu.pl)

The search for high-efficiency and cost-effective energy solutions has led to significant advancements in photovoltaic (PV) technologies. Among those technologies lay Perovskite Solar Cells (PSCs) and Concentrating Photovoltaics (CPV), which are promising due to their high efficiency and scalability potential. This paper gives a detailed review of these modern PV technologies.

Perovskite Solar Cells (PSCs) are a promising new technology in the renewable energy field, gaining attention for their remarkable efficiency in converting sunlight to electricity. Unlike traditional solar cells, which require high temperatures and long times for the crystallization of raw materials, PSCs can be formed quickly and at lower temperatures, no more than 150 degrees Celsius. This makes PSCs an attractive alternative for sustainable energy solutions.

Currently, silicon solar cells dominate the market but are nearing their theoretical efficiency limit. These traditional cells face issues such as high production costs, efficiency limitations, and high energy demand during manufacturing. In contrast, PSCs are highly efficient and easy to manufacture. For instance, a half-micron thick layer of Perovskite is needed for a solar cell, which is 400 times thinner than silicon solar cells.

PSCs offer numerous benefits, including high efficiency, with laboratory results showing over 30% efficiency, rivaling traditional solar panels. They are cost-effective due to low-cost, solution-based processes and require five times less energy to produce than silicon cells. Additionally, PSCs can produce more electricity from the sun in just four months than the energy used to make them. The flexibility of perovskite materials allows for a wide range of device architectures, making them suitable for various applications.

Despite their many advantages, PSCs face challenges such as long-term stability. While they have made progress in passing several standard tests for solar cell longevity, more research is needed

to address these issues. Perovskite solar cells are seen as revolutionary because they have the potential to overcome the shortcomings of traditional solar panels. Their applications range from rooftops to moving vehicles like cars, satellites, airplanes, and drones, indicating a bright, energy-efficient future. Active research is ongoing to resolve their challenges, paving the way for PSCs to become a major player in the renewable energy market.

Concentrating Photovoltaics is such a technology that utilizes optical devices, such as curved mirrors or lenses to focus a large area of sunlight onto the solar cell. Systems using high-concentration photovoltaics achieve the highest efficiency out of all existing PV technologies, reaching even 40% of sunlight energy to electricity conversion in ideal conditions. To concentrate light to a solar cell we typically use one of following methods: a Fresnel lens, which consists of several sections with different angles, parabolic mirrors, where light is reflected by one mirror to the other and is finally reflected onto the solar cell, reflectors, which have the least complex design, as there are 2 mirrors with a fixed angle and a solar cell in the middle, visually creating a funnel. Using optical devices to focus sunlight can be seen as both a positive and a negative characteristic. Because of concentration, this method requires less photovoltaic material to capture the same sunlight as other methods, but it also creates the need of cooling – either passive or active to avoid thermal destruction of the materials.

This document is a comprehensive overview of two modern photovoltaic technologies – Perovskite Solar Cells and Concentrating Photovoltaics, focusing on their way of work, benefits and drawbacks.

## Literatura

- [1] Dai Y., Chen J., *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 2017.
- [2] *Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy – 2014 edition*.
- [3] Chukwuka Ch., Folly K.A., *Overview of Concentrated Photovoltaic (CPV) Cells*, “Journal of Power and Energy Engineering” 2014, Vol. 2, pp. 1–8, doi: 10.4236/jpee.2014.211001.
- [4] [https://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv\\_concentration.php](https://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php)
- [5] Tytko R., *Najnowsze technologie wytwarzania ogniw fotowoltaicznych. Ogniw perowskitowe* (in Polish), „Aura” 2020, Vol. 4, pp. 16–17.

# EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PROTOTYPE HEAT ACCUMULATOR BASED ON PLATE FIN HEAT EXCHANGER

## BADANIE PROTOTYPU AKUMULATORA CIEPŁA OPARTEGO NA WYMIENNIKU LAMELOWYM

Dawid Sowa<sup>1</sup>, Szymon Lech<sup>1</sup>, Sindu Daniarta<sup>1,2</sup>, Piotr Kolasiński<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Thermodynamics and Renewable Energy Sources,  
Wroclaw University of Science and Technology

<sup>2</sup>Department of Energy Engineering, Budapest University of Technology and Economics

Adres do korespondencji: [dawid.sowa@pwr.edu.pl](mailto:dawid.sowa@pwr.edu.pl)

In recent years, due to efforts to reduce CO<sub>2</sub> emissions, the share of renewable energy sources (such as solar energy) in the energy market is increasing. Many of these sources can be categorized however as intermittent, that is energy sources, which are characterized by fluctuating parameters. Mainly the amount of energy available is fluctuating, while in the case of the heat sources, also the thermal power. In addition to renewable energy sources, the number of waste heat recovery installations, many of which are operating in intermittent conditions, is also increasing [1].

Fluctuations of heat source parameters can make the utilization of such sources by power systems challenging and lead to problems such as so-called “Duck curve” [2], since the deficit of energy has to be met by other, often non-renewable sources. Fluctuations can also pose a risk to the installation itself. For example, in the case of Rankine and organic Rankine systems, insufficient amount of heat can cause non-complete evaporation of the working fluid which can therefore cause the damage of some expanders.

For installations which are using heat as a source of energy, the heat accumulator, also known as thermal energy storage (TES), can provide a relatively inexpensive and simple [3] solution to the problems described above. By TES application it is possible to buffer fluctuations and store thermal energy during periods of high availability and releasing it when needed.

This work is part of an investigation aimed at the integration of heat accumulators with power systems, such as the aforementioned organic Rankine cycles. The experimental part of this research requires a heat accumulator experimental setup design and implementation. After setting requirements, such as operating temperature range, heat capacity, and heat storage materials selection, various options for the test setup construction were investigated. Out of these, it was decided to use a design based on plate fin heat exchanger, due to their availability in wide range of sizes, simple design and



geometry (allowing for the possibility of modular design), large heat transfer surface, and compatibility with organic working fluids.

In order to assess some of the design choices, before the implementation of the full-size TES, which will be used in the main series of the experiments, a smaller prototype was developed. This prototype of plate fin heat accumulator was constructed from the refrigeration condenser and off-the-shelf materials.

This TES is now being used in preliminary experiments which were carried out using two thermal energy storage materials, i.e., water and sand. In the next part of the research, other thermal energy storage materials will be used, including phase change materials, such as paraffin, and the test setup will be upgraded to allow higher temperatures (which are currently limited to around 90°C, due to application of water as a heat transfer fluid).

## Literatura

- [1] Wieland C. et al., *The organic Rankine cycle power systems market: Recent developments and future perspectives*, “Applied Thermal Engineering” 2023, Vol. 224, 119980, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2023.119980.
- [2] *Confronting the Duck Curve: How to Address Over-Generation of Solar Energy*, <https://www.energy.gov/eere/articles/confronting-duck-curve-how-address-over-generation-solar-energy> [accessed: 19.12.2020].
- [3] Patil V.R. et al., *Techno-economic comparison of solar organic Rankine cycle (ORC) and photovoltaic (PV) systems with energy storage*, “Renew. Energy” 2017, Vol. 113, pp. 1250–1260, doi: 10.1016/j.renene.2017.06.107.

# SIZE-CONTROLLED SYNTHESIS OF TWO-DIMENSIONAL PEROVSKITE SINGLE CRYSTALS FOR SCINTILLATION APPLICATIONS

## SYNTEZA DWUWYMIAROWYCH KRYSZTAŁÓW PEROWSKITOWYCH O KONTROLOWANEJ WIELKOŚCI DO ZASTOSOWAŃ SCYNTYLACYJNYCH

Barbara Sznyrowska

Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: [barbara.sznyrowska@gmail.com](mailto:barbara.sznyrowska@gmail.com)

Two-dimensional (2D) hybrid organic-inorganic perovskite crystals are recently gaining interest due to their enhanced stability [1], adjustable bandgap and wide application potential. Such materials can be utilized in photodetectors, devices for medical diagnosis, airport scanners and high-energy radiation detection, due to their unique scintillation properties. These 2D perovskite single crystals have numerous advantages compared to their one- and three-dimensional counterparts, e.g. stability, heightened light yields and thinner crystal profiles. Despite significant attention being paid to their highly-promising optical properties, there is a lack of understanding regarding the control of single 2D perovskite crystal sizes. It is crucial to put more attention to these studies, as perovskite scintillators with elongated aspect ratios absorb more high-energy radiation, such as X-rays and  $\gamma$ -rays [2].

To advance our understanding of single crystal growth, the study focused on how the concentration and volume of the solution impact the process. To explore this, three distinct samples of  $\text{BA}_2\text{PbBr}_4$  2D perovskite single crystals were synthesized and monitored for growth under constant temperature conditions:

- Sample S: 3-molar in 7ml solution,
- Sample M: 1.5-molar in 5ml solution,
- Sample L: 3-molar in 5ml solution.

After evaporation of the solvent the dimensions of the crystals were measured and presented on the attached graphs – Figs. 1 and 2.

Moreover, the optical properties of the samples were investigated, such as absorption spectra (Fig. 3), photoluminescence, and decay time.

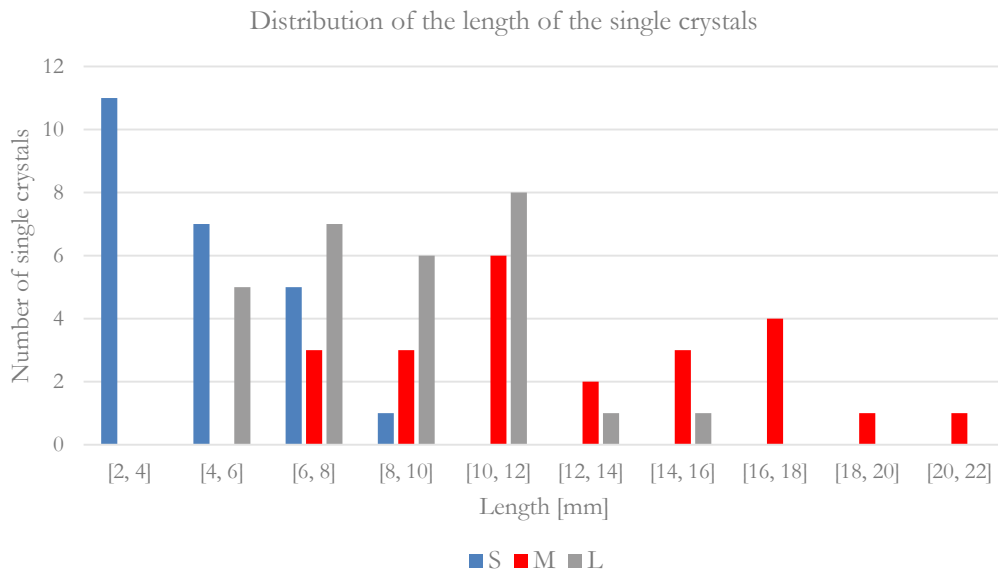


Fig. 1. Length of the crystals in the samples

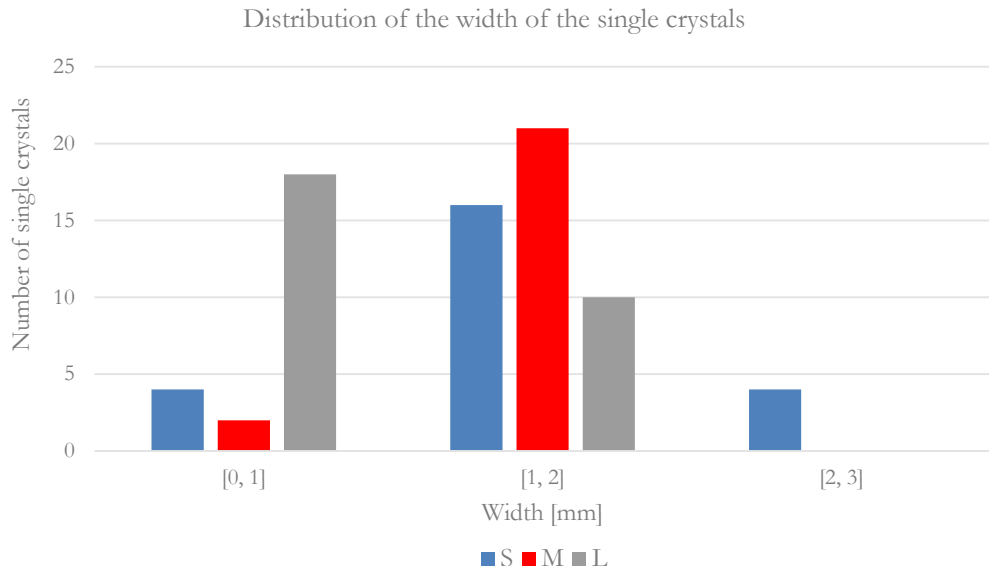


Fig. 2. Width of the crystals in the samples



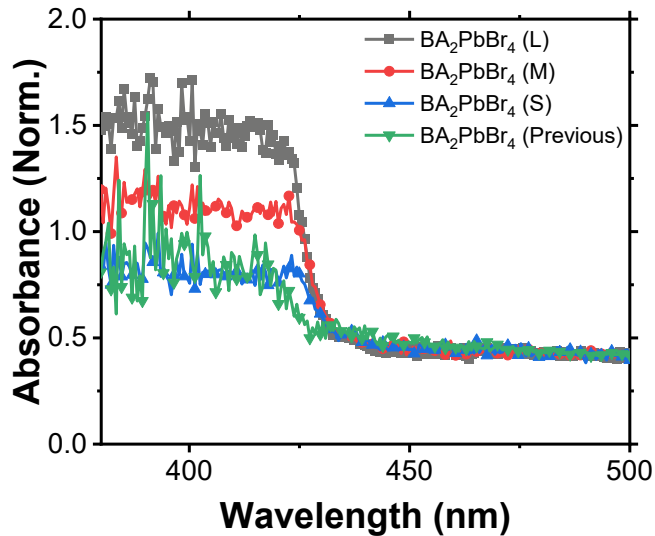


Fig. 3. Absorption spectra of the investigated samples compared with previous results for reference

Absorption measurements reveal a small band gap of 2.97 eV, promising for scintillation applications and confirming the successful synthesis of transparent perovskite scintillators with a potential for scalable and cost-effective production.

## Literatura

- [1] Yang Y. et al, *Origin of the stability of two-dimensional perovskites: a firstprinciples study*, “Journal of Material Chemistry A” 2018, Vol. 6, pp. 14949–14955, doi: 10.1039/C8TA01496E.
- [2] Dujardin C. et al., *Needs, Trends, and Advances in Inorganic Scintillators*, “IEEE Transactions on Nuclear Science” 2018, Vol. 65, No. 1, pp. 1977–1997, doi: 10.1109/TNS.2018.2840160.



# A PROOF OF CONCEPT FOR USING PLASMA GASIFICATION TO PRODUCE SYNGAS FROM BIOMASS: IMPROVING PRODUCTIVITY AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

## POTWIERDZENIE KONCEPCJI WYKORZYSTANIA ZGAZOWANIA PLAZMOWEGO DO PRODUKCJI SYNGAZU Z BIOMASY: POPRAWA WYDAJNOŚCI I POZIOMU ZRÓWNOWAŻENIA ŚRODOWISKOWEGO

Vishwajeet<sup>1,2</sup>, Komal Tripathi<sup>1</sup>, Kamal Kishore Pant<sup>1</sup>, Halina Pawlak-Kruczek<sup>2</sup>,  
Tomasz Hardy<sup>2</sup>, Aidan Mark Smith<sup>3</sup>, Amit Arora<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Indian Institute of Technology, Roorkee, India

<sup>2</sup>Department of Energy Conversion, Wrocław University of Science and Technology, Poland

<sup>3</sup>Department of Biological and Chemical Engineering, Aarhus University, Denmark

<sup>4</sup>Department of Chemical Engineering, National Institute of Technology, Hamirpur, India

Adresy do korespondencji: [vishwajeet.rijf@srin.uitr.ac.in](mailto:vishwajeet.rijf@srin.uitr.ac.in); [vishwajeet.na@pwr.edu.pl](mailto:vishwajeet.na@pwr.edu.pl)

Biomass gasification using plasma provides a viable option for waste disposal and clean energy generation. Because biomass has a high carbon content after some treatment like hydrothermal carbonization, using the plasma process to make syngas will be quite fruitful. However, for the syngas produced by this process to be used, they must be effectively cleaned to fulfill quality standards. The efficiency and environmental impact of the syngas cleaning technologies and procedures now in use are limited.

To improve efficiency and environmental sustainability in plasma gasification systems, this research intends to explore and develop advanced syngas cleaning technologies as well as plasma techniques to produce syngas. The main objective of this research is to develop a cutting-edge technology that verifies the viability of using biomass with the subsequent collection of carbon dioxide to generate energy and have a positive environmental impact. The most typically employed gasification agents in high-temperature plasma gasification are oxygen, steam, air, and their mixes.

Many researchers claim that since pure steam performs better under operational conditions and in syngas composition (higher LHV and H<sub>2</sub> yields), it is the ideal gasifying agent for generating high-quality syngas. As a gasifying agent H<sub>2</sub>O steam and oxy-steam are also often used. An additional benefit of vitrifying biomass is that it turns unwanted waste into a marketable product.







Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej  
są do nabycia w sprzedaży wysyłkowej:  
zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl  
www.ksiegarnia.pwr.edu.pl

ISBN 978-83-7493-278-3  
<https://doi.org/10.37190/KME2024>



9 788374 932783 >