

XIV Konferencja
**MŁODZI
W ENERGETYCE**



K M E

KSIAŻKA STRESZCZEŃ



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

XIV Conference

**YOUNG SCIENTISTS
IN POWER ENGINEERING**



BOOK OF ABSTRACTS

XIV Konferencja
„Młodzi w Energetyce”

KSIĄŻKA STRESZCZEŃ

Praca zbiorowa pod redakcją
Sławomira Pietrowicza, Beaty Pytlik,
Kamila Kowalskiego, Artura Machalskiego
i Macieja Cholewińskiego



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
Wrocław 2022

Kolegium redakcyjne:
Sławomir Pietrowicz, Maciej Cholewiński, Artur Machalski

Opracowanie redakcyjne i korekta:
Beata Pytlik, Kamil Kowalski

Korekta techniczna:
Stanisław Gancarz

Obsługa konta mailowego:
Beata Pytlik

Opieka nad stroną internetową:
Maciej Cholewiński, Artur Machalski, Beata Pytlik

Złożono na podstawie dostarczonych materiałów

Publikacja elektroniczna dostępna na stronie
Konferencji „Młodzi w Energetyce”
<http://kme.pwr.edu.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 2022

OFICYNA WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
<http://www.oficyna.pwr.edu.pl>
e-mail: oficwyd@pwr.edu.pl

ISBN 978-83-7493-225-7

Spis treści

ORGANIZATORZY KONFERENCJI	5
Od Organizatorów	7
SPONSORZY I PARTNERZY	9
<i>PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna</i>	11
HARMONOGRAM KONFERENCJI	13
I SESJA REFERATOWA	17
<i>Wpływ wybranych elementów konstrukcyjnych lamelowego wymiennika ciepła na efektywność energetyczną w warunkach konwekcji swobodnej</i>	19
Mikołaj Matuszczak	
<i>Wykorzystanie metody pomiarowej PIV w analizie skrobakowego wymiennika ciepła</i>	21
Kamil Kowalski	
<i>Struktura przepływu cieczy w rurze ssącej średniobieżnej turbiny Francisza z wykorzystaniem różnych modeli turbulencji</i>	23
Aneta Nycz, Przemysław Szulc	
II SESJA REFERATOWA	25
<i>Żelazowo-miedziane stałe nośniki tlenu o strukturze spinelu do zastosowania w procesie spalania paliw stałych w chemicznej pętli tlenkowej</i>	27
Rafał Łysowski, Ewelina Ksepko	
<i>Proces spalania w chemicznej pętli tlenkowej na przykładzie reakcji wybranych mieszanych stałych nośników tlenu z węglem</i>	28
Zuzanna Skitaniak, Rafał Łysowski, Ewelina Ksepko	
<i>Dobór czynników roboczych dla układów Organic Rankine Cycle</i>	29
Dawid Sowa, Piotr Kolasiński	
<i>Wykorzystanie benchmarków CFD w ocenie poprawności działania zaimplementowanych algorytmów w oprogramowaniu OpenFOAM</i>	30
Marcin Opalski	
<i>Stanowisko do wyznaczania parametrów cieplnych podczas przemiany fazowej materiałów zmiennocielnych – budowa i funkcjonalność</i>	32
Zuzanna Kołodko, Artur Nemś	
<i>Zależność charakterystyki pompy wirowej od parametrów geometrycznych spiralnego kanału zbiorczego</i>	33
Anna Chernobrova, Oleksandr Moloshnyi	

III SESJA REFERATOWA	35
<i>Wybrane zagadnienia struktury, właściwości i zastosowania nieorganiczno-organicznyc</i> <i>halogenkowych</i>	<i>37</i>
Barbara Sznyprowska	
<i>Potencjalne możliwości wykorzystania odpadów browarniczych do celów energetycznych</i>	<i>38</i>
Aleksandra Modzelewska, Mateusz Jackowski, Anna Trusek	
<i>Zarządzanie ryzykiem handlu na rynkach energii elektrycznej w oparciu o prognozowanie cen energii</i>	<i>40</i>
Joanna Janczura, Andrzej Puć	
<i>Zwiększenie autokonsumpcji energii elektrycznej pochodzącej z fotowoltaiki z wykorzystaniem</i> <i>technologii wodorowych</i>	<i>42</i>
Dominik Bielecki	
<i>The numerical analysis of the impact of the application of internal flue gas recirculation system</i> <i>to gas microturbine powered by methane in the context of the co combustion of hydrogen</i>	<i>43</i>
Jean-Marc Fafara	
<i>Screen Software – A Tool useful in Energy Management</i>	<i>45</i>
Vishwajeet, Ethan Errington, Tomasz Hardy, Miao Guo, Amit Arora	
<i>Low-grade heat-to-power conversion utilizing two-phase volumetric expanders</i>	<i>47</i>
Sindu Daniarta, Przemysław Błasiak, Piotr Kolasieński, Attila R. Imre	
<i>The utilization of plasma technology in thermal power plants for technical modernization</i> <i>and environmental safety</i>	<i>48</i>
Mazghan Orynbasar, Vladimir E. Messerle	

ORGANIZATORZY KONFERENCJI



OD ORGANIZATORÓW

To kolejny, czternasty już rok, w którym ukazuje się publikacja zawierająca streszczenia referatów wygłoszonych podczas Konferencji „Młodzi w Energetyce”. Warto podkreślić, że konferencja na stałe już wkomponowała się w harmonogram wydarzeń naukowych na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej.

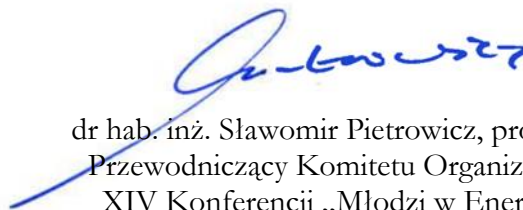
Ze względu na fakt, że Pan Profesor Henryk Kudela przeszedł na emeryturę, podjąłem się koordynacji tego ważnego wydarzenia. W tym miejscu chciałbym podziękować Panu Profesorowi Kudeli za jego ciężką pracę, wytrwałość i entuzjazm, dzięki którym konferencja odbywała się regularnie od lat. Myślę, że nie tylko ja zachowam na zawsze w pamięci, intensywne naukowe spotkania, prezentacje i dyskusje w Szklarskiej Porębie za dnia oraz wieczorne rozmowy i wspomnienia, które przyczyniały się również do zacieśnienia więzi przyjacielskich. Jeszcze raz bardzo dziękuję, Panie Profesorze, za wszystko co Pan zrobił dla tej Konferencji i Zeszytów Energetycznych, dla społeczności akademickiej.

W tym roku decyzja o dacie organizacji konferencji on-line zapadła spontanicznie, a wydarzenie zostało przeprowadzone dzięki determinacji Pani mgr inż. Beaty Pytlik, która wzięła na swoje barki większość trudów organizacyjnych. Wkład dr. inż. Artura Machalskiego, mgr. inż. Jean-Marca Fafary, dr. inż. Macieja Cholewińskiego oraz mgr. inż. Kamila Kowalskiego jest także nie do przecenienia. Dziękuję Państwu za poświęcony czas.

Na konferencję wpłynęło 17 referatów, co przelożyło się na 35 autorów i współautorów z 7 ośrodków akademickich, nie tylko polskich, ale również zagranicznych: Imperial College London; King's College London; Shaheed Bhagat Singh Technical University, Indie; Budapest University of Technology and Economics, Węgry; Al-Farabi Kazakh National University, Kazachstan. Podczas konferencji bardzo interesujące wykłady plenarne zaprezentowali Panowie: dr inż. Paweł Pacyga, mgr inż. Jacek Bieńkowski, mgr inż. Sławomir Szostak i dr inż. Daniel Smykowski.

Last but not least, chciałbym serdecznie podziękować sponsorowi konferencji – PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A., bez którego zdarzenie oraz publikacja nie miałyby miejsca.

Z życzeniami owocnej współpracy,



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

Organizatorzy Konferencji

Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej



Politechnika
Wrocławska



<https://pwr.edu.pl>
<https://wme.pwr.edu.pl>

PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna



**Górnictwo i Energetyka
Konwencjonalna S.A.**

<https://pgegiek.pl/>

Serdecznie dziękujemy za okazane wsparcie!

SPONSORZY I PARTNERZY

Wytwarzamy energię z troską o środowisko

Prowadzimy działalność w sposób zrównoważony, zachowując wysokie standardy ekologiczne. Nasze kompleksy górniczo-energetyczne to przykład odpowiedzialnego pogodzenia wyzwania, jakim jest udział w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego Polski z troską o środowisko naturalne.



www.pgegiek.pl



Górnictwo i Energetyka
Konwencjonalna S.A.

XIV Konferencja „Młodzi w Energetyce”
14–16.11.2022, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska, Wroclaw
konferencja zdalna w aplikacji Microsoft Teams

— **HARMONOGRAM KONFERENCJI** —



14 listopada 2022 (poniedziałek)

PANEL INAUGURUJĄCY I DZIEŃ KONFERENCJI

poniedziałek, 14.11.2022, 10:00–11:00

- 10:00 **OTWARCIE POKOJU KONFERENCYJNEGO, LOGOWANIE SIĘ UCZESTNIKÓW**
- 10:15 **UROCZYSTE OTWARCIE XIV KONFERENCJI „MŁODZI W ENERGETYCE”**
dr hab. inż. Piotr Szulc, prof. uczelni – Dziekan Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wroclawskiej
dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz – Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego
- 10:30 dr inż. Paweł Pacyga – *Słoneczne instalacje energetyczne*
(wykład plenarny w j. polskim)
Politechnika Wroclawska, Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii

I SESJA REFERATOWA

poniedziałek, 14.11.2022, 11:00–12:00

Przewodniczący Komisji: dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz

Wsparcie techniczne: mgr inż. Beata Pytlik

- 11:00 Mikołaj Matuszczak^{1, 2} – *Wpływ wybranych elementów konstrukcyjnych lamelowego wymiennika ciepła na efektywność energetyczną w warunkach konwekcji swobodnej*
¹Politechnika Wroclawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza
²Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej
- 11:20 Kamil Kowalski – *Wykorzystanie metody pomiarowej PIV w analizie skrobakowego wymiennika ciepła*
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii
- 11:40 Aneta Nycz, Przemysław Szulc – *Struktura przepływu cieczy w rurze ssącej średniobieżnej turbiny Francisza z wykorzystaniem różnych modeli turbulencji*
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny
- 12:00 **ZAMKNIĘCIE PIERWSZEGO DNIA XIV KONFERENCJI „MŁODZI W ENERGETYCE”**
dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz – Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego



15 listopada 2022 (wtorek)

PANEL INAUGURUJĄCY II DZIEŃ KONFERENCJI

wtorek, 15.11.2022, 10:00–11:00

- 10:00 **OTWARCIE POKOJU KONFERENCYJNEGO, LOGOWANIE SIĘ UCZESTNIKÓW**
- 10:15 **OTWARCIE 2. DNIA XIV KONFERENCJI „MŁODZI W ENERGETYCE”**
dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz – Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego
- 10:30 mgr inż. Jacek Bieńkowski – *Energetyka wodna na Dolnym Śląsku*
(wykład plenarny w j. polskim)
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł

II SESJA REFERATOWA

wtorek, 15.11.2022, 11:00–13:00

Przewodniczący Komisji: dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz

Wsparcie techniczne: mgr. inż. Beata Pytlik

- 11:00 Rafał Łysowski, Ewelina Ksepko – *Żelazowo-miedziane stałe nośniki tlenu o strukturze spinelu do zastosowania w procesie spalania paliw stałych w chemicznej pętli tlenkowej*
Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych
- 11:20 Zuzanna Skitaniak, Rafał Łysowski, Ewelina Ksepko – *Proces spalania w chemicznej pętli tlenkowej na przykładzie reakcji wybranych mieszanych stałych nośników tlenu z węglem*
Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych
- 11:40 Dawid Sowa, Piotr Kolasinski – *Dobór czynników roboczych dla układów Organic Rankine Cycle*
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii
- 12:00 Marcin Opalski – *Wykorzystanie benchmarków CFD w ocenie poprawności działania zaimplementowanych algorytmów w oprogramowaniu OpenFOAM*
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii
- 12:20 Zuzanna Kołodko – *Badanie zjawiska zmiany fazy materiałów zmiennofazowych*
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny
- 12:40 Anna Chernobrova – *Zależność charakterystyki pompy wirowej od parametrów geometrycznych spiralnego kanału zbiorczego*
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny
- 13:00 **ZAMKNIĘCIE DRUGIEGO DNIA XIV KONFERENCJI „MŁODZI W ENERGETYCE”**
dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz – Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego



16 listopada 2022 (środa)

PANEL INAUGURUJĄCY III DZIEŃ KONFERENCJI

środa, 16.11.2022, 10:00–11:20

- 10:00 **OTWARCIE POKOJU KONFERENCYJNEGO, LOGOWANIE SIĘ UCZESTNIKÓW**
- 10:15 **OTWARCIE 3. DNIA XIV KONFERENCJI „MŁODZI W ENERGETYCE”**
dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz – Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego
- 10:20 Sławomir Szostak – *Aspekty funkcjonowanie elektrowni szczytowo pompowej Dychów*
(wykład plenarny w j. polskim)
Dyrektor oddziału PGE Energia Odnawialna Oddział ZEW Dychów
- 10:50 dr inż. Daniel Smykowski – *Magazynowanie energii – technologie, badania, przykłady zastosowań*
(wykład plenarny w j. polskim)
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Inżynierii Konwersji Energii

III SESJA REFERATOWA

środa, 16.11.2022, 11:20–14:00

Przewodniczący Komisji: dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz

Wsparcie techniczne: mgr inż. Jean-Marc Fąfara

- 11:20 Barbara Sznyrowska – *Wybrane zagadnienia struktury, właściwości i zastosowania nieorganiczno-organicznych perowskitów halogenkowych*
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny
- 11:40 Aleksandra Modzelewska, Mateusz Jackowski, Anna Trusek – *Potencjalne możliwości wykorzystania odpadów browarniczych do celów energetycznych*
Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Bioprosesowej, Mikro i Nanoinżynierii
- 12:00 Joanna Janczura¹, Andrzej Puć² – *Zarządzanie ryzykiem handlu na rynkach energii elektrycznej w oparciu o prognozowanie cen energii*
¹Politechnika Wroclawska, Wydział Matematyki, Centrum im. Hugona Steinhausa,
²Politechnika Wroclawska, Wydział Matematyki

- 12:20 Dominik Bielecki – *Zwiększenie autokonsumpcji energii elektrycznej pochodzącej z fotowoltaiki z wykorzystaniem technologii wodorowych*
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Inżynierii Konwersji Energii
- 12:40 Jean-Marc Fařara – *The numerical analysis of the impact of the application of internal flue gas recirculation system to gas microturbine powered by methane in the context of the co combustion of hydrogen*
Wroclaw University of Science and Technology, Faculty of Mechanical and Power Engineering, Department of Energy Conversion Engineering
- 13:00 Vishwajeet¹, Ethan Errington², Tomasz Hardy¹, Miao Guo³, Amit Arora⁴ – *RET Screen Software – A Tool useful in Energy Management*
¹Wroclaw University of Science and Technology,
²Imperial College London,
³King's College London,
⁴Saheed Bhagat Singh Technical University, India
- 13:20 Sindu Daniarta^{1,2}, Przemysław Błasiak¹, Piotr Kolasiński¹, Attila R. Imre^{2,3} – *Low-grade heat-to-power conversion utilizing two-phase volumetric expanders*
¹Wroclaw University of Science and Technology, Faculty of Mechanical and Power Engineering, Department of Thermodynamics and Renewable Energy Sources
²Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy Engineering
³Centre for Energy Research, Department of Thermohydraulics
- 13:40 Orynbasar M.N. – *The utilization of plasma technology in thermal power plants for technical modernization and environmental safety*
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
- 14:00 – **OFICJALNE ZAMKNIĘCIE XIV KONFERENCJI „MŁODZI W ENERGETYCE”**
dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz – Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego

**I SESJA
REFERATOWA
14.11.2022**

WPŁYW WYBRANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH LAMELOWEGO WYMIENNIKA CIEPŁA NA EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ W WARUNKACH KONWEKCJI SWOBODNEJ

THE INFLUENCE OF SELECTED STRUCTURAL ELEMENTS OF A FINNED TUBE HEAT EXCHANGER ON ENERGY EFFICIENCY IN CONDITIONS OF FREE CONVECTION

Mikołaj Matuszczak^{1,2}

¹Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza,
Wydział Inżynierii Środowiska Politechnika Wroclawska

²Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska
Adres do korespondencji: mikolaj.matuszczak@pwr.edu.pl

Zapotrzebowanie na energię końcową do klimatyzowania pomieszczeń komercyjnych oraz mieszkalnych w okresie ostatnich trzydziestu lat wzrosło trzykrotnie według raportów IEA (International Energy Agency), a zgodnie z prognozami do roku 2050 wzrośnie co najmniej dwukrotnie [1]. Najczęściej do pokrycia zapotrzebowania na energię chłodniczą wykorzystuje się agregaty sprężarkowe (ang. *chiller*) z skraplaczami chłodzonymi powietrzem lub wodą. Agregaty te charakteryzują się wysokim zużyciem energii elektrycznej w porównaniu z innymi urządzeniami systemu wentylacyjno-klimatyzacyjnego. Jednym z sposobów ograniczenia całorocznych kosztów ich pracy jest zastosowanie układów, w których wykorzystuje się efekt konwekcji swobodnej (ang. *free cooling*). Przy stosunkowo niskiej temperaturze powietrza zewnętrznego możliwe jest częściowe lub całkowite pokrycie zapotrzebowania na energię chłodniczą systemu przez chłodziń wentylatorową (ang. *dry cooler*). Urządzenie to składa się z wentylatorów o osiowym przepływie powietrza, obudowy oraz wymienników typu powietrze-woda. Wyróżnić można urządzenia o ustawieniu wymiennika ciepła równoległym lub pod kątem do płaszczyzny wentylatora. Strumień powietrza wymuszony na skutek pracy wentylatora przepływa poprzecznie do rur, wewnątrz których przepływa czynnik roboczy, którym zazwyczaj jest woda z dodatkiem środka zapobiegającego jej krzepnięciu.

W suchych chłodziach wentylatorowych wykorzystuje się wymienniki ciepła z rozwiniętą powierzchnią wymiany ciepła po stronie powietrza. Zwiększenie zewnętrznej powierzchni wymiany ciepła odbywa się poprzez zastosowanie rur z ożebrowaniem indywidualnym lub lamelowym. Przepływ powietrza przez wymiennik może być również wywołany termiczną konwekcją grawitacyjną, czyli indukowany na skutek niejednorodnego rozkładu temperatury w polu grawitacyjnym [2]. Fakt ten pozwala na częściowe ograniczenie czasu pracy wentylatorów, a co za tym idzie, na ograniczenie zużycia energii elektrycznej przez suche chłodziacze wentylatorowe. Powszechnie zakłada się, że wymienniki lamelowe pracują tylko we współpracy z wentylatorem, z tego powodu w literaturze światowej brak jest analiz dotyczących pracy tych urządzeń w warunkach konwekcji swobodnej.

W niniejszej pracy eksperymentalnie przebadano wymianę ciepła zachodzącą w lamelowych wymiennikach ciepła w warunkach konwekcji swobodnej. W pierwszej kolejności zbadano, jak zmienia się gęstość strumienia ciepła wymiennika bez obudowy ustawionego poziomo. Następnie przeprowadzono badania dla obudowy o wysokości 350 mm, 850 mm oraz 1350 mm, wykorzystując w ten sposób efekt kominowy. Dodatkowo, dla obudowy o wysokości 350 mm przeprowadzono badania dla wymienników ustawionych pod kątem 0°, 30°, 45° oraz 60° względem płaszczyzny normalnej do wektora siły grawitacji. Badaniom poddano trzy wybrane lamelowe wymienniki ciepła, które różniły się od siebie między innymi rozstawem ożebrowania oraz liczbą rzędów rur. Schemat stanowiska badawczego wraz z charakterystyką wykorzystanych elementów pomiarowych opisany został szczegółowo w [3]. Badania zostały przeprowadzone dla temperatury wody zasilającej wymiennik w zakresie od 40°C do 80°C w kroku co 10°C. W trakcie trwania serii pomiarowej temperatura wody na wejściu do wymiennika była utrzymywana na stałym poziomie.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wydajność cieplna wymiennika lamelowego w warunkach konwekcji swobodnej jest związana głównie z różnicą temperatury między zewnętrzną powierzchnią

wymiany ciepła a powietrzem otaczającym. Drugim istotnym czynnikiem wpływającym na poprawę mocy cieplnej wymiennika była wysokość obudowy zamontowanej nad wymiennikiem. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że znaczący wpływ na moc cieplną ma również rozstaw ożebrowania. W pracy wykazano natomiast, że kąt ustawienia wymiennika w badanym zakresie nie ma większego wpływu na otrzymywaną moc cieplną wymiennika w warunkach konwekcji swobodnej.

Literatura

- [1] Birol F., *The future of cooling: opportunities for energy-efficient air conditioning*, International Energy Agency, 2018.
- [2] Bejan A., Kraus A.D. (eds.), *Heat transfer handbook*, Vol. 1, John Wiley & Sons, 2003.
- [3] Matuszczak M., Pietrowicz S., *An Experimental Investigation of Increasing the Thermal Efficiency of a Finned Tube Heat Exchanger by Using the Chimney Effect*, “Energies” 2019, 15(19), 7310.

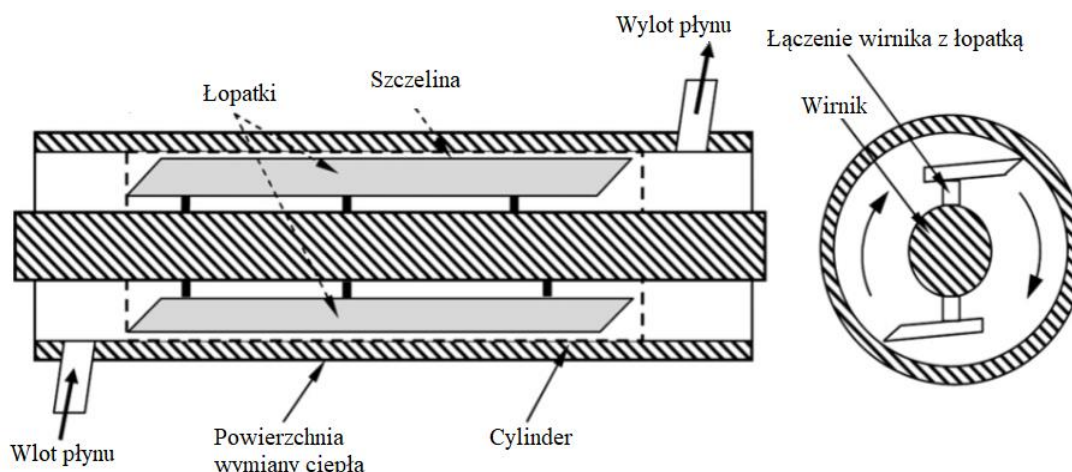
WYKORZYSTANIE METODY POMIAROWEJ PIV W ANALIZIE SKROBAKOWEGO WYMIENNIKA CIEPŁA

THE USE OF THE PIV MEASUREMENT METHOD IN THE ANALYSIS OF A SCRAPED SURFACE HEAT EXCHANGER

Kamil Kowalski

*Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii
 Adres do korespondencji: kamil.kowalski@pwr.edu.pl*

Wymiennik skrobakowy jest jednym z kluczowych urządzeń w różnych obszarach przemysłu. Szczególne znaczenie ma w przemyśle żywnościowym, gdzie jest duża różnorodność wykorzystywanych płynów lepkich [3]. Za pomocą wymiennika skrobakowego można podgrzewać i chłodzić substancję znajdującą się jego środku, przez co można uzyskać pożądany proces chemiczny (np. krystalizację). Mimo wykorzystania tego urządzenia przez wiele firm mechanizm wymiany ciepła zachodzący w tym urządzeniu nadal nie został w pełni opisany i zrozumiany. Na rysunku 1 przedstawiono schemat wymiennika skrobakowego, gdzie zaznaczono podstawowe elementy wchodzące w jego skład. Płyn wpływający do wymiennika przemieszcza się w kierunku wylotu i omywa ścianki cylindra. Chcąc zapewnić jednorodny przepływ ciepła wykorzystuje się łopatki, które usuwają warstwy płynu ze ścianek.



Rys. 1. Schemat wymiennika skrobakowego [1]

Jednym z możliwych rozwiązań, które pozwalają na pozyskanie kolejnych informacji o przepływie jest anemometria obrazowa PIV. Metoda PIV mierzy wartości prędkości płynu znajdującego się w środku urządzenia, wykorzystując zjawisko naświetlania laserem mikrocząstek wprowadzonych do wymiennika skrobakowego. Chcąc uzyskać poprawne wyniki przy wykorzystaniu tej metody należy spełnić warunek gęstości, który narzuca, aby wprowadzane mikrocząstki do płynu posiadały zbliżoną do wartości gęstość co do płynu. Spełnienie tego warunku zapewnia to, że przepływające cząstki mają taką samą wartość prędkości co przepływający płyn. Drugi warunek, odnosi się do doboru materiałów dla cylindra i płynu. Współczynnik załamania światła dla tych dwóch materiałów musi być taki sam [2]. W innym przypadku wystąpi zniekształcenie wiązki lasera i odczytane wartości prędkości będą błędne.

W pierwszej części pracy przedstawiono zasadę działania wymiennika i obszary, gdzie jest on najczęściej wykorzystywany. W drugiej części została omówiona metoda PIV oraz najważniejsze urządzenia wchodzące w skład aparatury PIV. Następnie przedstawiono najważniejsze problemy związane z wykorzystaniem metody PIV, które są napotykanie w badaniach wykorzystujących tę technikę pomiarową.

Literatura

- [1] Mourad Y., Legrand J., *A 3D-CFD Model Thermal Analysis within a Scraped Surface Heat Exchanger*, "Computers & Fluids" 2013, Vol. 71, pp. 380–399.
- [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, p. 502, doi: 10.3390/gels8080502.
- [3] Pordanjani A.H. et al., *Multivariate Optimization and Sensitivity Analyses of Relevant Parameters on Efficiency of Scraped Surface Heat Exchanger*, "Applied Thermal Engineering" 2020, Vol. 178, p. 115445, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115445.

STRUKTURA PRZEPLÝWU CIECZY W RURZE SSĄCEJ ŚREDNIOBIEŻNEJ TURBINY FRANCISA Z WYKORZYSTANIEM RÓŻNYCH MODELI TURBULENCJI

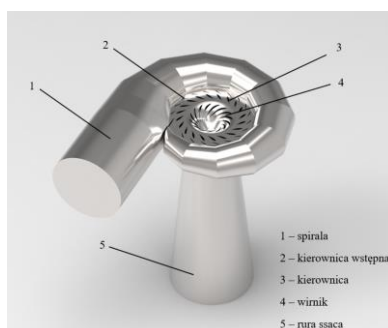
THE STRUCTURE OF THE LIQUID FLOW IN THE DRAFT TUBE OF THE MEDIUM-SPEED FRANCIS TURBINE WITH THE USE OF VARIOUS MODELS OF TURBULENCE

Aneta Nycz, Przemysław Szulc

Politechnika Wroclawska. Wydział Mechaniczno-Energetyczny
 Adres do korespondencji: aneta.nycz@pwr.edu.pl

Położenie punktu pracy maszyny w układzie hydraulicznym turbin naporowych determinuje zachodzące w nim zjawiska przepływowe. Zmiana zakresu działania silnika wodnego ma ogromne znaczenie dla pracy elementu odprowadzenia cieczy jakim jest rura ssąca. Jej zadaniem jest umożliwienie wykorzystania spadku geometrycznego zawartego między wirnikiem turbiny a zwierciadłem wody dolnej, a także odzyskanie energii kinetycznej cieczy wypływającej z wirnika (składowej dynamicznej ciśnienia) dzięki dyfuzorowemu kształtowi i zamkniętej formie rury.

Celem badań było określenie wpływu pozaoptimalnego stanu pracy turbiny Francisa na zjawiska przepływowe w rurze ssącej. Zakres badań obejmował dwa etapy. Pierwszą część stanowiły badania energetyczne identyfikujące parametry pracy turbiny wodnej, niezbędne do walidacji modelu numerycznego w drugiej części – symulacjach numerycznych. Na rysunku 1 przedstawiono przedmiot badań jakim jest średniobieźna turbina Francisa o wyróżniku szybkoobrotowości $n_{sN} \sim 296$ oraz średnicy wirnika $D = 1050$ mm. Model hydrauliczny układu przepływowego stanowi maszyna o osi pionowej, wyposażona w kierownicę Finka, zasilana rurociągiem derywacji ciśnieniowej połączonym ze stalową, segmentową spiralą oraz prostoosiowa rura ssąca.

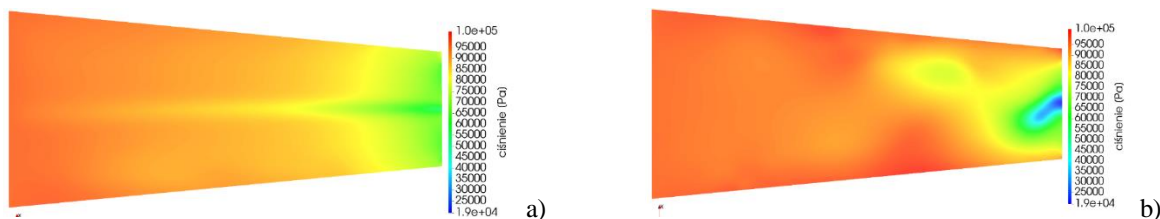


Rys. 1. Model hydrauliczny turbiny Francisa

Badanie przepływu w średniobieźnej turbinie Francisa składało się z dwóch części: jednej identyfikującej zjawisko w optymalnym stanie pracy turbiny oraz drugiej w stanie pozaoptimalnym, w połączeniu z weryfikacją wpływu zastosowanego modelu turbulencji na jakość uzyskanych wyników. Przedmiot badań podzielono na: spiralę, kierownicę, wirnik oraz rurę ssącą. Za pomocą siatek niestrukturalnych dokonano dyskretyzacji modelu, których suma elementów poszczególnych części składowych wyniosła około 50 mln. Za pośrednictwem lokalnych zagęszczeń siatki oraz z wykorzystaniem gęstości dyskretyzowano warstwy przyścienne z indywidualnym dopasowaniem dla każdej geometrii. Obliczenia przeprowadzono niestacjonarnie. Przyjmując dla każdego punktu optymalnego i pozaoptimalnego dostępne warianty turbulencji k -omega oraz k -epsilon określono model obliczeniowy. W programie Ansys Fluent w opcji *Viscous* wybrano kolejno modele: k -omega: Standard, BSL, SST oraz k -epsilon: Standard Standard, RNG Standard oraz Realizable.

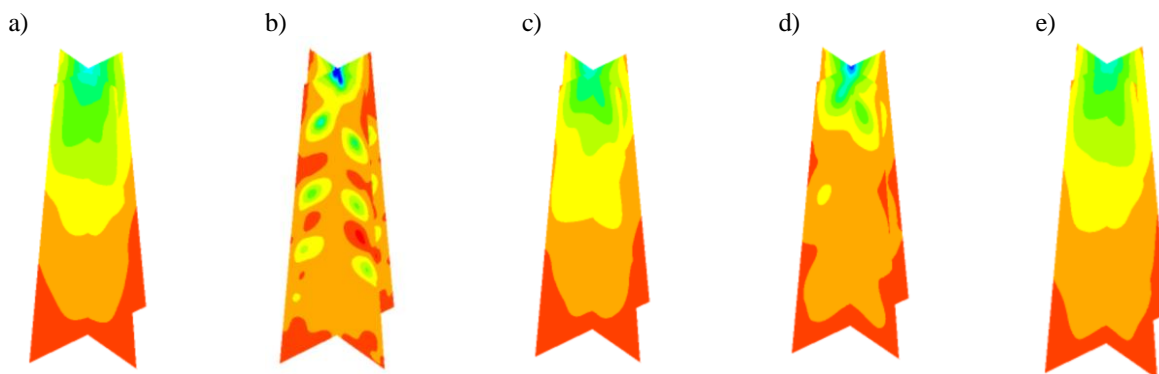
Na rysunku 2 przedstawiono rozkład ciśnienia statycznego w rurze ssącej. W części a) analizowana, równomierna struktura profilu prędkości wskazuje na to, że rura ssąca pracuje poprawnie, a kąt rozwarcia dyfuzora został prawidłowo dobrany. Optymalna dyfuzorowość rury ssącej pozwala jej na pracę prawie całym przekrojem.

Natomiast w części b) otrzymane rezultaty w postaci licznych pól o dużym gradiencie ciśnienia, świadczą o nieprawidłowości pracy elementu odprowadzenia cieczy.



Rys. 2. Rozkład ciśnienia statycznego w rurze ssącej w stanie pracy a) optymalnym, b) pozaoptymalnym

W kolejnych etapach badań przeprowadzono kompleksowe symulacje numeryczne przepływu w rurze ssącej dla danych wariantów modeli turbulencji ze wskazaniem na określenie struktury i zasięgu oddziaływania występującej kawitacji przestrzennej – pierścienia wodnego granicznego. Na rysunku 3 zestawiono rozkłady ciśnienia statycznego w rurze ssącej dla wykorzystanych, różnych modeli turbulencji. Analizując wyniki można dostrzec w osi rury ssącej zarys spiralnego wiru (rysunek 3 b, d), zajmującego znaczący obszar w elemencie odprowadzenia cieczy.



Rys. 3. Rozkład ciśnienia statycznego w rurze ssącej dla analizowanych wariantów modeli turbulencji:
 a) k -epsilon Standard Standard, b) k -epsilon RNG Standard, c) k -epsilon Realizable, d) k -omega SST, e) k -omega BSL

Powodem nieprawidłowości działania i zmniejszenia sprawności rury ssącej jest występowanie w niej przepływu z zawirowaniem, związanego z zasadą stałego krętu. Zjawisko to, w przekroju prostopadłym do osi rury, powoduje zmianę prędkości obrotowych na wartości odwrotnie proporcjonalne do promienia r , co oddziałuje na wartość ciśnienia statycznego. W szczególnym przypadku, jeżeli na konkretnej wartości promienia, wartość ciśnienia absolutnego zmaleje do wartości ciśnienia pary wodnej nasyconej w danej temperaturze, powstanie jądro kawitacji.

Literatura

- [1] Michałowski S., Plutecki J., *Energetyka wodna*, WNT, Warszawa 1975.
- [2] Gubin M.F., *Otsasyvaiuście truby gidroelektrostantsii*, Energija, Moskwa 1970.
- [3] Kim S.J. et al., *Effect of Fins on the Internal Flow Characteristics in the Draft Tube of a Francis Turbine Model*, “Energies” 2020, Vol. 13, No. 11, 2806, doi: 10.3390/en13112806.
- [4] Dörfler P., Sick M., Couto A., *Flow-Induced Pulsation and Vibration in Hydroelectric Machinery*, Springer London, 2013, doi: 10.1007/978-1-4471-4252-2.
- [5] Escalera X. et al., *Detection of cavitation in hydraulic turbines*, “Mechanical Systems and Signal Processing” 2006, Vol. 20, pp. 983–1007.

**II SESJA
REFERATOWA
15.11.2022**

ŻELAZOWO-MIEDZIANE STAŁE NOŚNIKI TLENU O STRUKTURZE SPINELU DO ZASTOSOWANIA W PROCESIE SPALANIA PALIW STAŁYCH W CHEMICZNEJ PĘTLI TLENKOWEJ

FE AND CU SPINEL-BASED OXYGEN CARRIERS FOR APPLICATION IN CHEMICAL LOOPING COMBUSTION OF SOLID FUELS

Rafał Łysowski¹, Ewelina Ksepko¹

¹Katedra Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych
Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: rafal.lysowski@pwr.edu.pl

Spalanie paliw w chemicznej pętli tlenkowej (ang. *Chemical Looping Combustion* – CLC) jest nową technologią czystego spalania. W procesie CLC paliwo nie ma kontaktu z powietrzem atmosferycznym, co eliminuje powstawanie termicznych tlenków azotu dzięki czemu proces oczyszczania i wychwytu dwutlenku węgla ze strumienia spalin jest znacznie bardziej uproszczony. Tlen do reaktora, w którym odbywa się proces spalania, dostarczany jest przez substancję zwaną stałym nośnikiem tlenu. Może być on uwalniany na drodze bezpośredniej reakcji nośnika z paliwem lub uwalniany spontanicznie w wyniku zmiany ciśnienia parcjalnego tlenu w otoczeniu, w którym zachodzi reakcja, bądź też w wyniku zmiany temperatury. Efekt taki określa się mianem pętli chemicznej z wyprzęganiem tlenu (ang. *Chemical Looping with Oxygen Uncoupling* – CLOU). Nośniki tlenu wykazujące efekt CLOU charakteryzują się zwiększoną szybkością reakcji z paliwami stałymi (nawet od 3 do 5×). Innym ważnym parametrem, którym powinien charakteryzować się stały nośnik tlenu jest jego stabilność fizykochemiczna podczas wielu cykli pracy. Stałe nośniki tlenu o strukturze spinelu charakteryzują się wysoką stabilnością, w zależności od składu chemicznego mogą również efekt CLOU, a także posiadać własności magnetyczne, co może znaleźć zastosowanie przy odzyskiwaniu tego typu materiałów w instalacjach CLC.

W przedstawionej pracy zaprezentowano wyniki badań wybranych stałych nośników tlenu o strukturze spinelu otrzymanych na bazie tlenków żelaza i miedzi. Nośniki były poddane analizie termogravimetrycznej celem oceny ich zdolności do spontanicznego oddawania tlenu (efekt CLOU).

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

PROCES SPALANIA W CHEMICZNEJ PĘTLI TLENKOWEJ NA PRZYKŁADZIE REAKCJI WYBRANYCH MIESZANYCH STAŁYCH NOŚNIKÓW TLENU Z WĘGLEM

CHEMICAL LOOPING COMBUSTION PROCESS ON A EXAMPLE OF REACTION MIXED METAL OXYGEN CARRIERS WITH COAL

Zuzanna Skitaniak, Rafał Łysowski, Ewelina Ksepko

Katedra Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: 240506@student.pwr.edu.pl

W związku z koniecznością redukcji emisji gazów cieplarnianych, poszukuje się nowych nisko emisyjnych metod produkcji energii. Przy czym, pomimo odchodzenia od spalania paliw kopalnych, wciąż zakłada się ich wysoki udział w produkcji energii elektrycznej w najbliższej przyszłości. Jedną z obiecujących technologii pozwalających na ograniczenie negatywnych, dla środowiska, skutków spalania tego typu paliw, jest spalanie w chemicznej pętli tlenkowej (ang. *Chemical Looping Combustion*). W technologii CLC tlen do procesu spalania jest dostarczany bezpośrednio przez materiał zwany stałym nośnikiem tlenu, co pozwala uzyskać efekt podobny jak w przypadku bardziej tradycyjnych metod spalania w atmosferze tlenowej, przy znacznie niższych kosztach. Instalacje CLC nie wymagają bowiem budowy energochłonnych jednostek wytwarzających tlen. Spaliny powstające podczas spalania paliw w procesie CLC praktycznie nie zawierają termicznych tlenków azotu, co znacznie ułatwia późniejszą sekwestrację dwutlenku węgla.

W niniejszej prezentacji omówiono przykłady zastosowania technologii CLC do spalania paliw stałych, za-demonstrowano również, za pomocą analizatora termograwimetrycznego, proces spalania węgla kamiennego, na wybranych mieszanych nośnikach tlenu, otrzymanych na bazie tlenków żelaza i manganu z dodatkiem tlenków inertnych (np. ZrO_2 , TiO_2) celem dodatkowej modyfikacji ich właściwości.

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

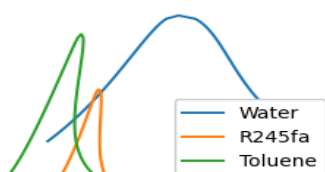
DOBÓR CZYNNIKÓW ROBOCZYCH DLA UKŁADÓW ORGANIC RANKINE CYCLE

WORKING FLUID SELECTION FOR ORGANIC RANKINE CYCLE

Dawid Sowa, Piotr Kolasiński

Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii
 Adres do korespondencji: *dawid.sowa@pwr.edu.pl*

Zakres stosowania konwencjonalnego obiegu Rankine’a ograniczony jest przez właściwości termodynamiczne wody, które powodują niską sprawność w przypadku wykorzystania źródeł o niskiej temperaturze, pomimo że sprawdza się dobrze w przypadku źródeł wysokotemperaturowych. Organiczny Obieg Rankine’a (ORC) dzięki zastosowaniu niskowrzących organicznych czynników roboczych umożliwia generowanie energii elektrycznej np. z niskotemperaturowych źródeł geotermalnych czy z ciepła odpadowego.



Rys. 1. Wykres T–S dla przykładowych czynników organicznych i wody

Wybór czynnika roboczego jest jednym z istotnych zagadnień rozpatrywanych przy projektowaniu układu ORC. Dzięki dużej różnorodności dostępnych czynników roboczych, możliwe jest dopasowanie czynnika do źródła ciepła. W trakcie ich doboru należy wziąć pod uwagę wiele zagadnień, nie tylko tych natury termodynamicznej. Poza sprawnością obiegu istotne są m.in. dostępność, bezpieczeństwo użytkowania, jak również oddziaływania ekologiczne danego czynnika. Względna waga tych aspektów zależy od zastosowania, np. bezpieczeństwo jest szczególnie ważne dla obiegów pracujących bez nadzoru.

W pracy przedstawiono w jaki sposób można użyć biblioteki CoolProp [1] (zawierającej dane termodynamiczne czynników chłodniczych) do wyznaczenia i porównania sprawności obiegów wykorzystujących różne czynniki robocze oraz doboru czynnika do układu ORC. Istotnym zagadnieniem jest ustalenie optymalnych parametrów pracy dla poszczególnych czynników, w szczególności ciśnienia w parowaczu, od którego zależy stopień przegrzania pary, co z kolei wpływa na zdolność czynnika do odbioru ciepła ze źródła górnego. Obiegi o stosunkowo dużym stopniu przegrzania charakteryzują się wyższą mocą rozprężarki, pomimo niższej sprawności obiegu.

Po ustaleniu punktów charakterystycznych obiegu, jak również innych jego parametrów, istotnym aspektem jest oszacowanie powierzchni wymiany ciepła wymienników koniecznej do przekazania ciepła. Im niższa jest temperatura źródła, tym większe są wymienniki które należy zastosować. Ponieważ koszt wymienników ciepła stanowi znaczący udział w całkowitym koszcie instalacji, mogą one przesądzać o opłacalności inwestycji. Ze względu na skomplikowany charakter zagadnienia jakim jest wymiana ciepła w trakcie wrzenia i skraplania, obliczenia metodą LMTD jakie zostały wykorzystane mają jedynie charakter przybliżony.

Literatura

- [1] Bell I.H. et al., *Pure and pseudo-pure fluid thermophysical property evaluation and the open-source thermophysical property library CoolProp*, “Industrial & Engineering Chemistry Research” 2014, Vol. 53, No. 6, pp. 2498–2508, doi: 10.1021/ie4033999.

WYKORZYSTANIE BENCHMARKÓW CFD W OCENIE POPRAWNOŚCI DZIAŁANIA ZAIMPLEMENTOWANYCH ALGORYTMÓW W OPROGRAMOWANIU OPENFOAM

THE USE OF CFD BENCHMARKS IN EVALUATING THE CORRECTNESS OF THE IMPLEMENTED ALGORITHMS IN OPENFOAM SOFTWARE

Marcin Opalski

Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii
 Adres do korespondencji: marcin.opalski@pwr.edu.pl

Podczas procesu projektowania modelu numerycznego kluczowym jest sprawdzenie jego poprawności. Poprawność dotyczyć może dwóch aspektów, samego solvera oraz ustawień numerycznych. W niniejszej prezentacji zostanie przedstawione wykorzystanie benchmarków w aspekcie dopracowania zaimplementowanego do oprogramowania OpenFOAM solvera “chtInterBoilCondFOAM”. Solver w swoim algorytmie realizuje sprzężony transfer ciepły wraz z przepływem z przemianą fazową. Podstawową różnicą między standardowymi solverami OpenFOAM, jest zaaplikowanie modeli transferu masy międzyfazowych oraz wymiany ciepła między ciałem stałym a cieczą. Algorytm wykorzystuje metodę Volume of Fluid (VOF) [1], która to dzieli objętości rozważanej geometrii na komórki wypełnione fazą ciekłą oraz fazą gazową, przyporządkowując wartość 0 lub 1. W objętościach, na których znajduje się granica fazowa, przyporządkowana jest liczba od 0 do 1, w zależności od stopnia wypełnienia. Dla algorytmu nie jest oczywistym, kształt paraboliczny granicy międzyfazowej, dlatego też do solvera został zaaplikowany algorytm MULES-a [2] realizujący w pętli obliczeniowej wyznaczenie kształtu granicy.

W modelowaniu przepływu wielofazowego rozwiązywane są osobno równania zarówno dla gazu i cieczy, jak i interfejsu. Poniżej przedstawiono równania realizowane dla cieczy i ciała stałego. Analogiczne równania rozwiązywane są dla fazy gazowej, zmieniający jest jedynie indeks oznaczenia.

Równanie zachowania masy

$$\frac{\partial \alpha_l}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_l \vec{u}) - (\alpha_v \nabla \cdot \vec{u}) + \nabla \cdot (\alpha_l \alpha_v \vec{u}_r) = (J_{vl} - J_{lv}) \left[\frac{1}{\rho_l} - \alpha_l \left(\frac{1}{\rho_l} - \frac{1}{\rho_v} \right) \right] \quad (1)$$

Równanie zachowania momentu

$$\frac{\partial (\rho \vec{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) - \vec{u} [\nabla \cdot (\rho \vec{u})] - \frac{\vec{u} \partial \rho}{\partial t} = -\nabla p_{rhg} + \nabla \cdot [v(\nabla \vec{u} + \nabla \vec{u}^T)] - \vec{g} \bar{h} \nabla \rho + \sigma \kappa \nabla \alpha_l \quad (2)$$

Równanie zachowania energii

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{u} T) - T \nabla \cdot \vec{u} = \nabla \cdot \left(\frac{k}{\rho c_p} \nabla T \right) + (J_{vl} - J_{lv}) \frac{h_{evap}}{\rho c_p} \quad (3)$$

Równanie zachowania energii dla ciała stałego

$$\rho_s c_{ps} \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (\lambda \nabla T) = S_e \quad (4)$$

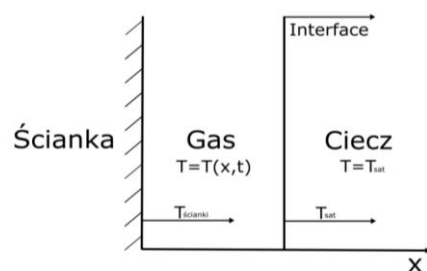
Solver został przebadany pod kątem dwóch benchmarków, pierwszym jest problem Stefana, który jest wykorzystywany w ocenie poprawności algorytmu pod kątem przemiany fazowej. Polega on na zwiększaniu temperatury pary, która w konsekwencji powoduje ruch granicy międzyfazowej. Problem Stefana zaprezentowany jest na rys. 1. Opisane zjawisko można opisać za pomocą równania różniczkowego drugiego rzędu (5), które rozwiązywalne jest analitycznie dla następujących warunków brzegowych (6).

$$\frac{T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (5)$$

$$T = T_{\text{ścianka}} \quad \text{dla } x = 0$$

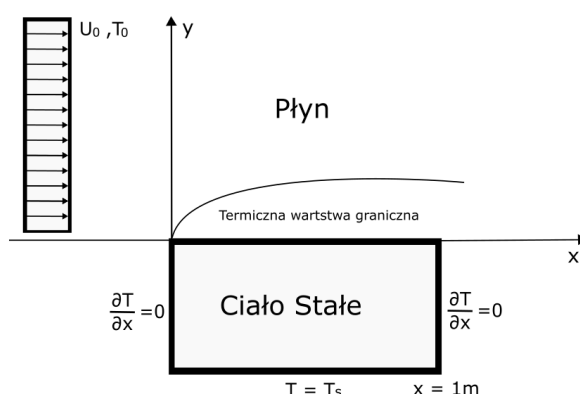
$$T = T_{\text{sat}} \quad \text{dla } x \geq \delta(t) \quad (6)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} h = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{dla } x = \delta(t)$$



Rys. 1. Ilustracja problemu Stefana

W celu weryfikacji sprzężonego transferu ciepła, czyli wymiany ciepła między fazą stałą a płynem wykonywany jest benchmark bazujący na problemie Blasiusa [3], w którym modelowana jest wymiana ciepła wewnątrz dwuwymiarowej domeny o założonej liczbie Reynoldsa i Prandtla. Koncepcja przytoczonego benchmarku ukazana została na rys. 2.



Rys. 2. Koncepcja benchmarku lid-driven cavity

W przypadku obu benchmarków wyniki porównano z wynikami analitycznymi lub wynikami analitycznymi, dzięki zastosowaniu tej praktyki uzyskano informacje na temat optymalnych ustawień numerycznych, takich jak ilość pętli korektora, współczynniki intensyfikacji przemiany fazowej, sposób obliczenia operatora dywergencji, czy optymalny algorytm rozwiązujący równania macierzowe.

Literatura

- [1] Hirt C.W., Nichols B.D., *Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries*, “Journal of Computational Physics” 1981, Vol. 39, Issue 1, doi: 10.1016/0021-9991(81)90145-5.
- [2] Deshpande S., Anumolu L., Trujillo M., *Evaluating the performance of the two-phase flow solver interFoam*, “Computational Science & Discovery” 2012, Vol. 5, No. 1, p. 36, doi: 5.10.1088/1749-4699/5/1/014016.
- [3] Vynnycky M. et al., *Forced convection heat transfer from a flat plate: the conjugate problem*, “International Journal of Heat and Mass Transfer” 1998, Vol. 41, No. 1, pp. 45–59, doi: 10.1016/S0017-9310(97)00113-0.

STANOWISKO DO WYZNACZANIA PARAMETRÓW CIEPLNYCH PODCZAS PRZEMIANY FAZOWEJ MATERIAŁÓW ZMIENNOFAZOWYCH – BUDOWA I FUNKCJONALNOŚĆ

LABORATORY STAND FOR DETERMINING THERMAL PARAMETERS DURING THE PHASE CHANGE OF PHASE CHANGE MATERIALS – CONSTRUCTION AND FUNCTIONALITY

Zuzanna Kołodko, Artur Nemś

*Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny,
Katedra Termodynamiki i Odnawialnych Źródeł Energii
Adres do korespondencji: 254996@student.pwr.edu.pl*

W pracy przedstawiono budowę i funkcjonalność stanowiska laboratoryjnego do badania zjawiska zmiany fazy materiałów zmiennofazowych. Stanowisko służy do obserwacji i rejestracji przemian topnienia i krzepnięcia materiałów PCM w zakresie temperaturowym wody sięgającym od 20,0°C do 90,0°C. Materiały zmiennofazowe umieszczone są w zbiorniku z wodą w kolbach miarowych ze szkła borokrzemowego 3.3. Regulacja temperatury wody w zbiorniku odbywa się z wykorzystaniem grzałki elektrycznej o mocy 2 kW. Do grzałki elektrycznej podłączony jest regulator temperatury wody o dokładności regulacji równej $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Woda w zbiorniku cyrkuluje dzięki zastosowaniu pompy obiegowej, której moc regulowana jest z wykorzystaniem autotransformatora. Izolacja cieplna zbiornika z wodą umożliwia utrzymanie stałej temperatury wody, która podczas przeprowadzanych serii pomiarowych w temperaturze 75,0°C wahała się w przedziale $\pm 1,0^\circ\text{C}$. Rejestracja temperatury materiału zmiennofazowego odbywa się z wykorzystaniem termopar, dokładność pomiaru wynosi $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Do ścianki kolby miarowej przymocowany jest czujnik strumienia ciepła, którego wartość w postaci różnicy napięć rejestrowana z wykorzystaniem multimetru. Pomiar i zapis temperatury na zewnętrznym nośniku pamięci możliwy jest w maksymalnie sześciu punktach. Funkcjonalność stanowiska została pokazana na przykładzie serii pomiarowych wykonanych na materiale RT54HC firmy Rubitherm GmbH.

ZALEŻNOŚĆ CHARAKTERYSTYKI POMPY WIROWEJ OD PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH SPIRALNEGO KANAŁU ZBIORCZEGO

DEPENDENCE OF CENTRIFUGAL PUMP CHARACTERISTICS ON THE GEOMETRIC PARAMETERS OF VOLUTE-CASING

Anna Chernobrova, Oleksandr Moloshnyi

*Katedra Inżynierii Konwersji Energii, Politechnika Wroclawska
 Adres do korespondencji: anna.chernobrova@pwr.edu.pl*

Elementy odprowadzenia cieczy w pompach wirowych mają znaczący wpływ na kształt charakterystyki przepływu, w tym na uzyskiwany poziom sprawności. Odprowadzenie cieczy z wirnika pompy wirowej oraz transformacja energii kinetycznej w ciśnienie statyczne realizowane jest za pomocą różnych konstrukcji kanałów zbiorczych, wśród których, z energetycznego punktu widzenia, najkorzystniejszy jest kanał spiralny. Wśród naukowców nie ma jednoznacznej opinii, jak parametry geometryczne spiralnego kanału zbiorczego wpływają na parametry pracy pompy. Projektując kanał spiralny najczęściej zaleca się dobór parametrów geometrycznych bazując na istniejących konstrukcjach pomp, które dobrze sprawdzają się w podobnym przeliczeniowo punkcie pracy. Opinie autorów najbardziej różnią się w zakresie zaleceń konstrukcyjnych (relacji pomiędzy wymiarami charakterystycznymi kanału spiralnego, a średnicą wirnika), które bazują na wynikach badań empirycznych.

Obiekt badań – pompa dwustrumieniowa z niskim wyróżnikiem szybkoobrotowości 23, wysokość podnoszenia 25 m, nominalna wydajność (Q_{nom}) 105 m³/h. Modelowanie numeryczne wybrano metodę analizy procesu pracy pompy. Dla obliczeń zastosowano metodę Reynolds-Averaged Navier–Stokes (RANS) ze standardowym modelem turbulencji $k-\epsilon$ dla wszystkich obliczeń.

W przedstawionych badaniach było porównano spirali zaprojektowane zgodnie z zaleceniami A. Stepanoffa [1] i A. Lomakina [2]. Różnica w projektowaniu polega głównie w wyborze szerokości wlotowej do spirali (b_3) i w wyborze średnicy wlotowej do spirali (d_3) oraz inną metodologią obliczenia (tab. 1).

Tabela 1. Wybór geometrycznych parametrów spirali

Zgodnie z zaleceniami	Metoda	Szerokość wlotowa do spirali (b_3), mm	Średnica wlotowa do spirali (d_3), mm	Forma przekroju
Lomakina	stałego krętu cieczy	40	281	trapezowa i okrągła
Stepanoffa	stałej prędkości średniej	52	297	trapezowa i okrągła

Zmiana formy przekroju (trapezowy lub okrągły kształt) wpływa na zmianę wysokości podnoszenia pompy na 1% przy wydajności innej niż optymalna. Przy optymalnej wydajności zmiany nie są zauważalne. Przy zmianie metodyki widoczne zmiany wysokości podnoszenia pompy pomiędzy spiralami Lomakina i Stepanoffa około 1,5% dla optymalnej wydajności i około 2% dla $0,7Q_{nom}$ lub $1,2Q_{nom}$.

Wyniki badań pokazują, że forma przekroju spirali wpływa na parametry pracy pompy mniej niż powierzchnia przekroju. Ten efekt związany z niskim wyróżnikiem szybkoobrotowości.

Literatura

- [1] Stepanoff A., *Centrifugal and Axial Flow Pumps*, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1957.
 [2] Lomakin A., *Centrobeznye i osewe nasosy*, Mašinostroenie, Leningrad 1965.

**III SESJA
REFERATOWA
16.11.2022**

WYBRANE ZAGADNIENIA STRUKTURY, WŁAŚCIWOŚCI I ZASTOSOWANIA NIEORGANICZNO-ORGANICZNYCH PEROWSKITÓW HALOGENKOWYCH

SELECTED ISSUES OF STRUCTURE, PROPERTIES AND APPLICATION OF INORGANIC-ORGANIC HALIDE PEROVSKITES

Barbara Sznyrowska

Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska
Adres do korespondencji: barbara.sznyrowska@gmail.com

Perowskity halogenkowe, czyli grupa związków o wzorze ogólnym ABX_3 , posiadają zdefiniowaną strukturę krystaliczną i właściwości półprzewodnikowe. Szerokie widmo absorpcji światła widzialnego oraz wysoka sprawność konwersji energii sprawiają, że perowskity są nie tylko tematem wielu prac naukowych, ale zyskują również zainteresowanie w branży ogniw słonecznych. Perowskitowe ogniwa półprzewodnikowe są uważane za konkurencję dla powszechnie stosowanych ogniw krzemowych. Z roku na rok osiągane są coraz wyższe sprawności ogniw perowskitowych – obecnie sprawności teoretyczne obu ogniw są na zbliżonym poziomie [1]. Podstawowe i najbardziej powszechne metody wytwarzania tych ogniw umożliwiają relatywnie tanią produkcję, a właściwości optoelektroniczne materiału, takie jak modyfikowalna przerwa energetyczna [2], w połączeniu z atrakcyjnymi fizycznymi cechami konstruowanych urządzeń fotowoltaicznych stanowią zachętę do dalszego rozwoju tej technologii w celu jej komercjalizacji.

Przed tym etapem należałoby jednak poprawić trwałość kryształów perowskitowych. Czynniki takie jak wilgoć, tlen, promieniowanie UV i wysoka temperatura przyczyniają się do rozkładu chemicznego kryształu perowskitu [3, 4], a w konsekwencji do szybkiego spadku sprawności ogniwa z niego zbudowanego. Co więcej, zmiany temperatury w zakresie temperatur pracy ogniwa powodują przemiany fazowe struktury krystalicznej perowskitu, co również wpływa na jego właściwości optoelektroniczne.

Innym zagadnieniem jest próba eliminacji ołowiu ze struktury perowskitu. Zastąpienie ołowiu innym pierwiastkiem wiąże się z pogorszeniem i tak niewielkiej stabilności ogniwa. Mimo że badania dowodzą, że ilość uwalnianego ołowiu jest nieznaczna [5], należy maksymalnie zmniejszyć jego negatywny wpływ na środowisko. Jednym z proponowanych rozwiązań jest enkapsulacja ogniwa, znacznie ograniczająca wpływ czynników zewnętrznych na stabilność perowskitu. Szeroki zakres potencjalnych zastosowań oraz zrealizowane projekty pilotażowe sugerują przełom w technologii paneli fotowoltaicznych i dalszy rozwój branży.

Podczas konferencji omówione zostaną podstawowe zagadnienia dotyczące perowskitów halogenkowych, takie jak struktura krystaliczna i elektronowa, a także schemat budowy ogniwa perowskitowego. Na wystąpieniu przedstawione zostaną czynniki wpływające na modyfikację przerwy energetycznej perowskitu oraz te powodujące jego rozkład. Prezentację zakończy przegląd potencjalnych zastosowań technologii ogniw perowskitowych oraz ich konkurencyjności względem paneli krzemowych.

Literatura

- [1] Jeong M., Choi I.W., Go E.M., Cho Y., Kim M., Lee B., Jeong S., Jo Y., Choi H.W., Lee J., Bae J.H., Kwak S.K., Kim D.S., Yang C., *Stable perovskite solar cells with efficiency exceeding 24,8% and 0.3-V voltage loss*, Science, 2020, Vol. 369, pp. 1615–1620, doi: 10.1126/science.abb7167.
- [2] Gao P., Grätzel M., Nazeeruddin M.K., *Organohalide lead perovskites for swphotovoltaic applications*, Energy and Environmental Science, 2014, Vol. 7, pp. 2448–2463, doi: 10.1039/C4EE00942H.
- [3] Han Y., Meyer S., Dkhissi Y., Weber K., Pringle J.M., Bach U., Spiccia L., Cheng Y.B., *Degradation observations of encapsulated planar $CH_3NH_3PbI_3$ perovskite solar cells at high temperatures and humidity*, Journal of Material Chemistry A, 2015, Vol. 3, pp. 8139–8147, doi: 10.1039/C5TA00358J.
- [4] Liu R., Wang L., Fan Y., Li Z., Pang S., *UV degradation of the interface between perovskites and the electron transport layer*, RSC Advances, 2020, Vol. 10, pp. 11551–11556, doi: 10.1039/C9RA10960A.
- [5] Fabini D., *Quantifying the Potential for Lead Pollution from Halide Perovskite Photovoltaics*, The Journal of Physical Chemistry Letters, 2015, Vol. 6 (18), pp. 3546–3548, doi: 10.1021/acs.jpcclett.5b01747.

POTENCJALNE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ODPADÓW BROWARNICZYCH DO CELÓW ENERGETYCZNYCH

POSSIBILITIES OF USING BREWERS BYPRODUCTS FOR THE ENERGETIC PURPOSES

Aleksandra Modzelewska, Mateusz Jackowski, Anna Trusek

*Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Bioprosesowej, Mikro i Nanoinżynierii
Adres do korespondencji: aleksandra.modzelewska@pwr.edu.pl*

Branża piwowarska jest jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi w polskim przemyśle. Za sprawą tzw. piwnej rewolucji, rynek piwowarski w Polsce nabral rozpadu – zaobserwowano znaczny wzrost ilości browarów, co sprzyja pojawianiu się na krajowym rynku coraz to nowych rodzajów piwa. Dzięki niemalejącemu zainteresowaniu konsumentów tym napojem niskoalkoholowym oraz intensywnemu eksportowi, Polska znajduje się w ścisłej czołówce producentów piwa w Unii Europejskiej [1].

Proces produkcji piwa wymaga czterech podstawowych surowców: siodu, drożdży piwowarskich, chmielu oraz wody. Surowce poddawane są wieloetapowej obróbce – począwszy od zacierania, poprzez gotowanie brzezki z chmielom i fermentację, skończywszy na rozlewie finalnego produktu [2]. Z racji na przerabianie dużej ilości surowców, nieuniknione jest generowanie istotnej ilości odpadów na niemal każdym z etapów produkcji. Filtrowanie brzezki po zacieraniu pozostawia znaczne ilości wysłodzin browarnicznych, chmielenie generuje odpad w postaci wychmielin, natomiast po procesie fermentacji od produktu oddzielane są drożdże odpadowe. Każdemu z wyżej wymienionych odpadów można przypisać potencjał do wykorzystania do celów energetycznych.

Sam proces produkcji piwa charakteryzuje się wysokim zapotrzebowaniem na energię. W browarze dochodzi do znacznego jej zużycia w urządzeniach grzejnych, chłodniczych oraz w instalacjach elektrotechnicznych. Niemal połowę całkowitego zużycia energii stanowi regulacja temperatury – na przykład para wodna jako nośnik ciepła jest wykorzystywana w ilości nawet 78 kg na hektolitr piwa. Chłodzenie instalacji zużywa ciężkie do przewidzenia nakłady energii, gdyż jest mocno uzależnione np. od pory roku. Instalacje elektrotechniczne, w zależności od stopnia mechanizacji browaru, zużywają do 8 kWh/hl piwa [3].

Wysokie zapotrzebowanie przemysłu browarniczego na energię w połączeniu z generowaniem znacznych ilości odpadów motywuje do zmniejszenia skali obydwóch problemów poprzez zastosowanie cyrkularnego gospodarowania energią. Uzyskiwanie energii z odpadów browarnicznych może odbywać się z wykorzystaniem następujących metod:

- a) Zastosowanie wysłodzin jako paliwa stałego – ze względu na dużą zawartość węgla (wahającego się od 45 do 49% suchej masy) wysłodziny browarniczne mogą stanowić obiecującą alternatywę dla powszechnie stosowanych paliw stałych. Jednakże dla tego odpadu charakterystyczna jest wysoka zawartość wody (przekraczająca 70%), przez co przechowywanie, transport oraz wykorzystywanie go jest znacznie utrudnione [4]. Suszenie wysłodzin wymaga sporych nakładów energii, przez co wyjściowy profit energetyczny jest znacznie zmniejszony, jak nie zerowy.
- b) Waloryzacja odpadów poprzez zastosowanie hydrotermalnej karbonizacji – w tej metodzie biomasa o wysokiej zawartości wilgoci zostaje przetworzona w biopaliwo bogate w węgiel. Hydrotermalna karbonizacja nie wymaga wcześniejszego odwadniania surowca, przez co stanowi doskonałą alternatywę dla konwencjonalnych metod konwersji termicznej w przypadku wysłodzin oraz wychmielin browarnicznych [5]
- c) Hydroliza wysłodzin i wychmielin – w wyniku hydrolizy chemicznej oraz enzymatycznej możliwe jest odzyskanie drogocennych substancji. Wśród nich są zarówno związki, takie jak polifenole czy białka, ale też cukry. Z kolei cukry mogą być na drodze fermentacji przekształcone w etanol lub w biodiesel.
- d) Zhydrolizowane wysłodziny browarniczne mogą być poddane działaniu bakterii fermentacji metanowej w celu wytworzenia biogazu. Niestety wychmieliny mogą być używane w tym celu tylko w ograniczonym stopniu ze względu na zawartość związków o działaniu bakteriostatycznym [6].

Zastosowanie wyżej wymienionych dróg zagospodarowania odpadów browarniczych mogłoby istotnie przybliżyć proces produkcji piwa do stania się reprezentatywnym przykładem zaimplementowania gospodarki o obiegu zamkniętym. Warto wspomnieć, że w dobie raptownie malejących zasobów energii nieodnawialnej oraz wzrostu cen paliw kopalnych możliwości zastosowania potencjalnych paliw odnawialnych powinny być szczególnie rozpatrywane.

Literatura

- [1] Eurostat, *Beer production increased in 2021*, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220830-1> [dostęp: listopad 2022].
- [2] Kunze W., *Technologia piwa i słodu*, Wydawnictwo Hobby, Piwochmiel, Warszawa 1999.
- [3] Modzelewska A., Jackowski M., *Zapotrzebowanie energetyczne w przemyśle browarniczym*, Zeszyty Energetyczne, Tom VII, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2020.
- [4] Jackowski M et al., *Brewer's Spent Grains – Valuable Beer Industry By-Product*, “Biomolecules” 2020, 10, 1669, doi: 10.3390/biom10121669.
- [5] Modzelewska A. i in., *Potencjał produkcji biogazu z ciekłej frakcji po HTC odpadów z procesu fermentacji*, XIII Konferencja Młodzi w Energetyce – książka streszczeń, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2021.
- [6] Dobre P., Nicolae F., Matei F., *Main factors affecting biogas production – an overview*, “Romanian Biotechnological Letters” 2014, Vol. 19, pp. 9283–9296.

ZARZĄDZANIE RYZYKIEM HANDLU NA RYNKACH ENERGII ELEKTRYCZNEJ W OPARCIU O PROGNOZOWANIE CEN ENERGII

PROBABILISTIC FORECASTS FOR MANAGEMENT OF TRADE RISK IN ELECTRICITY MARKETS

Joanna Janczura¹, Andrzej Puć²

¹Wydział Matematyki, Centrum im. Hugona Steinhausa, Politechnika Wroclawska

²Wydział Matematyki, Politechnika Wroclawska

Adres do korespondencji: joanna.janczura@pwr.edu.pl

Ryzyko związane z handlem na europejskich rynkach energii elektrycznej wzrosło w ciągu ostatnich lat. Głównymi przyczynami zmian są liberalizacja handlu energią oraz zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii. Większość energii jest sprzedawana na rynku dnia następnego, ale istnieje też możliwość handlu na rynku dnia bieżącego. Istnienie wielu rynków energii pozwala na dywersyfikację kupowanego lub sprzedawanego wolumenu w celu zwiększenia zysku oraz zarządzania ryzykiem. Pokazujemy, że zarówno dla odbiorcy, jak i dostawcy, oba te cele mogą zostać osiągnięte.

Wyznaczamy krótkoterminowe prognozy probabilistyczne cen energii elektrycznej na rynku dnia następnego i rynku dnia bieżącego przy użyciu modelu ARX-GARCH. Model ten opiera się na modelu ARX, który jest standardowym podejściem w prognozowaniu cen energii elektrycznej [1]. Ceny na rynku dnia następnego, $P_{h,t}^0$, traktujemy jako 24 oddzielne szeregi czasowe i opisujemy modelem ARX postaci

$$P_{h,t}^0 = \alpha D_t + \beta X_{h,t} + \sum_{i=1}^7 \theta P_{h,t-i}^0 + \delta \min(P_{h,t-1}^0) + \eta \max(P_{h,t-1}^0) + \varepsilon_{h,t}^0, \quad (1)$$

gdzie: h oznacza daną godzinę, t dzień, a $\varepsilon_{h,t}^0$ to residua modelu. Wektor D_t zawiera wskaźniki dni tygodnia, a wektor $X_{h,t}$ zmienne zewnętrzne takie jak produkcja ze źródeł odnawialnych, zapotrzebowanie oraz ceny paliw i ceny uprawnień do emisji CO₂. Ceny na rynku dnia bieżącego, $P_{h,t}^1$, modelujemy analogicznie przez

$$P_{h,t}^1 = \alpha D_t + \beta X_{h,t} + \sum_{i=2}^7 \theta P_{h,t-i}^1 + \gamma P_{h,t-1}^0 + \delta \min(P_{h,t-2}^1) + \eta \max(P_{h,t-2}^1) + \varepsilon_{h,t}^1. \quad (2)$$

Przy pomocy modeli (1) i (2) uzyskujemy punktowe prognozy cen energii, $\hat{P}_{h,t+1}^i$, $i = 0, 1$, oraz wektory residuów o długości N równej długości okna kalibracyjnego modeli, które razem służą nam do wyznaczenia N możliwych scenariuszy przyszłych cen jako

$$P_{h,t+1,j}^i = \hat{P}_{h,t+1}^i + \varepsilon_{h,j}^i, \quad i = 0, 1, \quad j = t - N, t - (N - 1), \dots, t. \quad (3)$$

Używając modelu GARCH(1,1) do prognozy wariancji residuów w równaniu (3) i ich ustandaryzowania, odpowiadamy dodatkowo na wykryty w trakcie badań problem ich heteroskedastyczności, przez co prognozy probabilistyczne stają się dokładniejsze. Na ich podstawie symulujemy scenariusze $s_{h,t,j}$, $j = 1, 2, \dots, N$, wartości portfela złożonego z energii handlowanej na rynku dnia następnego i rynku dnia bieżącego przy założeniu, że handlowany wolumen to 1 MWh. Scenariusze te dane są wzorem

$$S_{h,t,j} = w_{h,t} P_{h,t,j}^1 + (1 - w_{h,t}) P_{h,t,j}^0, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

gdzie $w_{h,t} \in [0, 1]$ jest częścią energii sprzedaną na rynku dnia bieżącego. Na podstawie scenariuszy $s_{h,t,j}$ wyznaczamy prognozy miar zysku i ryzyka, w oparciu o które proponujemy zestaw strategii zarządzania ryzykiem poprzez optymalizację wag $w_{h,t}$ w równaniu (4). Strategie dzielą się na trzy grupy: mających na celu maksymalizację zysku, minimalizację ryzyka lub znalezienie kompromisu między zyskiem a ryzykiem. Proponowane rozwiązania testujemy na danych z rynku Niemieckiego i Polskiego.

Dzięki użyciu modelu GARCH poprawiamy prognozy zmienności, co pozwala poprawić rezultaty strategii biorących pod uwagę zmienność względem [2]. Cele optymalizacji zostały osiągnięte dla każdej grupy strategii.

Badania finansowane ze środków grantu NCN Sonata No. 2019/35/D/HS4/00369.

Literatura

- [1] Weron R., *Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future*, “International Journal of Forecasting” 2014, Vol. 30, pp. 1030–1081, doi: 10.1016/j.ijforecast.2014.08.008.
- [2] Janczura J., Wójcik E., *Dynamic short-term risk management strategies for the choice of electricity market based on probabilistic forecasts of profit and risk measures. The German and the Polish market case study*, “Energy Economics” 2022, Vol. 110, s. 106015, doi: 10.1016/j.eneco.2022.106015.

ZWIĘKSZENIE AUTOKONSUMPCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ POCHODZĄCEJ Z FOTOWOLTAIKI Z WYKORZYSTANIEM TECHNOLOGII WODOROWYCH

INCREASING SELF-CONSUMPTION OF ELECTRICITY FROM PHOTOVOLTAICS USING HYDROGEN TECHNOLOGIES

Dominik Bielecki

*Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Inżynierii Konwersji Energii
Adres do korespondencji: dominik.bielecki@pwr.edu.pl*

Ze względu na rosnącą liczbę odnawialnych źródeł energii w systemie elektroenergetycznym oraz ich zmienny profil wytwarzania energii elektrycznej, pojawiają się momenty przeciążenia sieci oraz niedoboru energii w systemie. Rozwiązaniem tego problemu jest magazynowanie nadwyżek energii elektrycznej w momentach braku zapotrzebowania oraz wykorzystanie jej w momencie wzrostu popytu. W artykule rozpatrywany jest układ składający się z instalacji fotowoltaicznej, baterijnego magazynu energii elektrycznej, elektrolizera do wytwarzania wodoru, magazynu wodoru opartego na materiałach stałych oraz ogniwa paliwowego. Układ ten ma za zadanie maksymalnie wykorzystać potencjał wytwarzania energii z instalacji fotowoltaicznej oraz zminimalizować ilość energii pobieranej z sieci elektroenergetycznej. Wykonana została symulacja uzysków z instalacji fotowoltaicznej, na którą nałożone zostały profile zużycia energii elektrycznej dla gospodarstwa domowego. Porównane zostały trzy wielkości pojemności magazynów energii odpowiadające obecnym standardom rynkowym. Zbadano jak zastosowanie technologii wodorowych może zwiększyć autokonsumpcję energii oraz jak duże zużycie może zostać pokryte w całości przez instalację fotowoltaiczną bez poboru energii z sieci elektroenergetycznej.

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

THE NUMERICAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE APPLICATION OF INTERNAL FLUE GAS RECIRCULATION SYSTEM TO GAS MICROTURBINE POWERED BY METHANE IN THE CONTEXT OF THE CO-COMBUSTION OF HYDROGEN

NUMERYCZNE BADANIE WPLYWU ZASTOSOWANIA
WEWNĄTRZKOMOROWEGO UKŁADU ZAWRACANIA SPALIN
W MIKROTURBINIE GAZOWEJ ZASILANEJ METANEM
W UJĘCIU WSPÓŁSPALANIA WODORU

Jean-Marc Fafara

*Department of Energy Conversion Engineering, Faculty of Mechanical and Power Engineering,
Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland
Adres do korespondencji: jean-marc.fafara@pwr.edu.pl*

Today's energy industry is increasingly interested by turning to the renewable energy. Unfortunately, renewable energy is highly dependent on variations of the environmental conditions, which causes a discontinuous and unstable energy generation. The problem of irregular electricity generation is increasingly solved by storing the electricity excess in the form of gaseous fuel. The hydrolysis process enables the production of hydrogen fuel using electricity (from a renewable source of energy as for example) and water. Then, from the obtained hydrogen, methane can be generated applying the methanation process, which consists on converting hydrogen with carbon dioxide. Both obtained gases can then be mixed to obtain renewable fuel. This process is called "Power-to-Gas" (P2G). However, it should be stressed that the process of converting electricity into hydrogen and the process of converting hydrogen into methane cause energy losses and therefore reduce the efficiency of renewable fuel generation process. It follows from the above that optimally the best practice would be operating only with pure hydrogen fuel. Unfortunately, it is preferable to use methane because it is more user-friendly in terms of storage and use [1]. The obtained renewable fuel can then be converted back into electricity when necessary. Renewable fuel can be used to supply fuel cells, piston engines or gas turbines. An interesting variant of gas turbines are gas microturbines. Although they are not very large in size, they are having increasing interest in various industries branches; energy sector, transport, aviation, etc.

Currently, methane fuel with a maximum amount of hydrogen of around 20% can be applied in gas microturbines [2]. This limitation is due to the excessively high reaction rate of hydrogen compared to the design capabilities of gas microturbines (restrictions in terms of too high temperature and combustion speed). In order to increase the efficiency of the renewable energy processing process, the percentage of hydrogen in the renewable fuel should be increased, while reducing the intensity of the combustion process. It seems to be possible to control the combustion process with an increased hydrogen content, by using a system that will transport a part of the exhaust gases, before inlet into the turbine, to the point of air-fuel mixture formation and combustion. This would have the effect of introducing the exhaust gases (including carbon dioxide) in the air-fuel mixture. Carbon dioxide affects the combustion process physically and chemically. From a physical point of view, carbon dioxide (and steam water present in exhaust) causes an increase of the specific heat of the gases present in the combustion, which has the effect of limiting the combustion maximum temperature and therefore the maximum speed of combustion. On the other hand, from a chemical point of view, carbon dioxide has the ability to react with selected radicals in the combustion zone, which reduces their concentration in the combustion zone, which also results in a reduction of the intensity of the combustion process (maximum temperature and speed). To sum up, the use of this solution would make possible to maintain the operating temperature and speed of fuel combustion in the combustion chamber of the gas microturbine with an increased contribution of hydrogen in the renewable fuel. This technical solution is called "Internal Flue Gas Recirculation". The idea of the solution is presented in Figure 1. This solution is used in energy industry boiler, however, it is not used in gas turbines / microturbines, from where the idea of examining this application in this new approach. The numerical tests carried out will make possible to preliminarily assess the applicability of spontaneous

recirculation of exhaust gases and the efficiency of controlling the combustion process of hydrogen-enriched renewable fuel by applying the internal exhaust gas recirculation system.

According to the theoretical studies, the next five theses to be checked were elaborated: (i) it is possible to create an internal flue gas recirculation (IFGR) system implemented into a gas microturbine working autonomously, (ii) the IFGR system will make possible to have an impact on the combustion process in the gas microturbine combustor, (iii) the implementation of the IFGR system will permit to keep the nominal temperature parameter in the combustor while adding a certain amount of hydrogen into the methane fuel, (iv) the flame speed in the combustion chamber will be conserved while adding a certain amount of hydrogen into the methane fuel and (v) the IFGR system will make possible to keep the nominal concentration of NO_x in exhaust gases while adding a certain amount of hydrogen into the methane fuel.

In order to assess the effectiveness of the proposed solution, theoretical numerically assisted studies are carried out. The first stage of the study was the preparation of a methane-powered gas microturbine project, which enabled the creation of a three-dimensional combustion chamber model [3]. This model was then numerically investigated to describe the combustion process in the reference combustion chamber, with an increasing participation of hydrogen in the fuel. On the basis of the collected data about the combustion process, two internal exhaust gas recirculation systems, as described above, were developed. After implementing these solutions into the combustion chamber reference model, simulations were repeated to describe changes in the combustion process. Excel Microsoft was used to perform the calculations of the gas microturbine, Solid Edge was used to model the three-dimensional combustion chamber, and Ansys was used to simulate the combustion process. The geometry of the reference and modified combustors were meshed with the use of the Fluent meshing tools. The mesh was achieved with polyhedral elements, with five boundary layers. Then, the obtained meshes were implemented in the Fluent software, where were used the following models: the energy equation was activated, the realizable k-epsilon turbulence model was used, the discrete ordinates radiation model was implemented and flamelet non-premixed combustion model was applied (with the use of the Gri-Mech chemical mechanism). The weighted-sum-of-gray-gases (WSGG) model was enabled in order to take in count the radiation absorption of each specie present in the reactive volume. These settings were selected after consulting scientific papers as for example [3] and [4]. Figure 2 shows the reference combustion chamber 3D model. Additional studies were conducted in Chemkin Software. Actually the studies are achieved and the results are analysed and interpreted. The results from all these studies will be exposed and discussed during the XIV KME Conference.

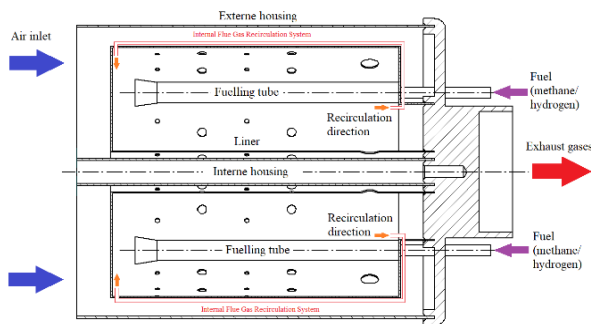


Fig. 1. Concept of internal exhaust gas recirculation system for gas microturbine



Fig. 2. Three-dimensional model of the reference combustion chamber for numerical investigation

Literature

- [1] Sterner M., Jentsch M., Holzhammer U., *Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes*, Fraunhofer Institute Report, Kassel 2011.
- [2] Palla H. (ed.), *L'hydrogène l'énergie pour le futur?*, Gazette – Energie et technique 1, 2019.
- [3] Gieras M., *Miniaturowe silniki turbodoładowane*, Publishing House of the Warsaw University of Technology, Warsaw 2016.
- [4] Sosnowski M., Krzywanski J., Gnatowska R., *Polyhedral meshing as an innovative approach to computational domain discretization of a cyclone in a fluidized bed CLC unit*, “E3S Web of Conferences” 2017, 14, doi: 10.1051/e3sconf/20171401027.

RET SCREEN SOFTWARE – A TOOL USEFUL IN ENERGY MANAGEMENT

OPROGRAMOWANIE EKRAINU RET – NARZĘDZIE PRZYDATNE W ZARZĄDZANIU ENERGIĄ

Vishwajeet¹, Ethan Errington², Tomasz Hardy¹, Miao Guo³, Amit Arora⁴

¹Wrocław University of Science and Technology

²Imperial College London

³King's College London

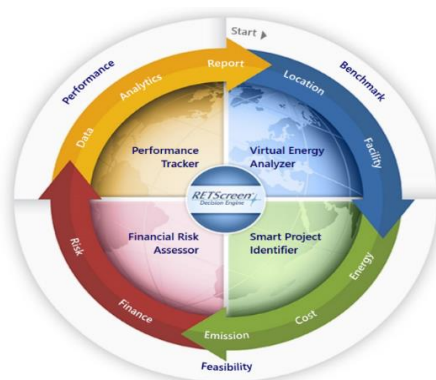
⁴Saheed Bhagat Singh Technical University, India

Correspondence addresses: vishwajeet.na@pwr.edu.pl; vishwajeet.name@kcl.ac.uk

Energy experts and decision-makers may find, evaluate, and maximize the technical and financial viability of new clean energy projects with the help of RET Screen Expert [1]. The administration of multi-facility portfolios is also made possible by its decision intelligence software platform, which also enables managers to measure and confirm the real performance of facilities.

Energy efficiency (from large industrial facilities to individual homes), heating and cooling (such as biomass, heat pumps, and solar air/water heating), power (including renewables like solar, wind, wave, hydro, geothermal, etc. but also conventional technologies like gas/steam turbines and reciprocating engines), and a full range of conventional and non-conventional clean energy sources and technologies are all modelled by RET Screen Expert (or cogeneration). The analytical worksheets provide links to maps of the world's energy resources as well as databases for products, projects, benchmarks, hydrology, and climate.

A five-star benchmark ranking system and a virtual energy analyzer function enable quick and precise calculation of the energy production and savings potential for any place in the world without the need for a site visit. The best projects to implement at the plant are precisely identified by a smart project identifier, which also intelligently completes an energy audit or pre-feasibility analysis for onsite improvements. A financial risk assessor automatically evaluates the investment's financial risk and methodically establishes the sensitivity of important criteria to a project's profitability. A Performance Tracker helps identify the potential for additional energy improvements at the site by thoroughly measuring and verifying the actual performance of existing projects.



A figure of RET Screen Expert Decision Engine [1]

Benchmark analyses – To compare the energy performance of various types of reference, the user of benchmark analysis can establish reference climate conditions at a facility site for any location on Earth.

Feasibility Analysis – The ability to do a five-step standard analysis, comprising energy analysis, cost analysis, emission analysis, financial analysis, and sensitivity/risk analysis, is provided by feasibility analysis.

Performance Analysis – It enables users to track, examine, and communicate vital information about a facility’s energy performance to managers, operators, and senior decision-makers, including how well the facility really performs in comparison to expectations.

RET Screen helps to analyze power Plants using a variety of renewable and conventional sources.

Step 1 – Fuels & schedules

The user inputs data about the fuels and schedules taken into account for the basic case and the suggested case facilities in this section. I am using sewage sludge as fuel.

Table 1. Proximate and ultimate analysis of sewage sludge used

Specification	Unit	Value
Fixed Carbon	% _{dry}	9.40
Volatile Matter	% _{dry}	58.10
Ash	% _{dry}	32.50
Moisture content ^a	% _{wb}	2.00
HHV	MJ/kg	15.70
C	% _{dry}	27.89
H	% _{dry}	6.67
N	% _{dry}	4.36
S	% _{dry}	0.29
O ^b	% _{dry}	28.29

^a e assumed value, after drying of sewage sludge. ^b e determined by difference.

Step 2 – Technology

The user inputs the data for the proposed case’s power system equipment in this area. To access the data entry forms, the user must click on the equipment they wish to describe in the ribbon (such as a reciprocating engine, combined-cycle gas turbine, wind turbine, etc). In my case, I am using it for gasification.

Table 2. Main Characteristics of gasification reactors

Gasifier design	Feed size [mm]	Temperature [°C]	Residence time [s]	Ash character	Ash fusion temperature	Carbon conversion
Entrained-flow	<0.1	>1300	low	slagging	low	high

The information entered in the preceding sections (i.e., Fuels & timetables, and Technology) is summarised in this part, along with specific details for each fuel type used. Examples of these outcomes include power export earnings, simple payback, etc.

Literature

[1] Government of Canada, *RETSscreen*, <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465> [available online: 16.11.2022].

LOW-GRADE HEAT-TO-POWER CONVERSION UTILIZING TWO-PHASE VOLUMETRIC EXPANDERS

KONWERSJA CIEPŁA O NISKIM POTENCJALE W ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ PRZY ZASTOSOWANIU ROZPRĘŻAREK OBJĘTOŚCIOWYCH

Sindu Daniarta^{1,2}, Przemysław Błasiak¹, Piotr Kolasinski¹, Attila R. Imre^{2,3}

¹*Wroclaw University of Science and Technology, Faculty of Mechanical and Power Engineering,
Department of Thermodynamics and Renewable Energy Sources*

²*Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Energy Engineering*

³*Centre for Energy Research, Department of Thermohydraulics*

Corresponding authors: *sindu.daniarta@pwr.edu.pl, daniarta@energia.bme.hu*

Sustainable Development Goal 7 (SDG-7) has had a significant impact on efforts to ensure access to affordable, reliable, and sustainable energy. Several strategies are used to accelerate progress and accomplish the agenda. The use of waste heat and renewable sources, which in this instance are typically low-grade heat sources, to improve the efficiency of the existing system is one of the most challenging scientific and technical issues. The conversion of low-grade heat into mechanical power, and subsequently mechanical power into electricity, might be accomplished using one of the promising thermodynamic cycles, such as the organic Rankine cycle (ORC). In this case, expanding working fluid drives the expander's shaft, which is connected to a generator and is used to generate electricity. Nevertheless, it turns out that some expansion processes were developed for supercritical conditions (that is, typically dry conditions). Expansion processes that produce mechanical power from two-phase working fluid flow with and without phase change are typically avoided due to a number of common issues related to turbomachinery (turbines), including condensation in the cylinder, erosion of the blade surface, and others. According to recent articles [1, 2], several volumetric expanders may be able to work under a two-phase condition and may be appropriate for the application of low-grade heat sources, as intermittent and fluctuating heat can cause unsuccessful or partial evaporation of the working fluid within the cycle.

This study discusses the literature review, the mathematical model, and the advantages of employing two-phase expanders since the application of volumetric machines might be beneficial for utilizing low-grade heat sources in the future. Several thermodynamic cycles employing two-phase expanders are reported as alternatives to the ORC, including the trilateral flash cycle (TFC), partially evaporated ORC (PE-ORC), and others. The comparison between them is presented with regard to the selected working fluids. The present study also provides a brief overview of thermodynamic power cycle projects employing two-phase expanders in lab, pilot, and demo facilities.

References

- [1] van Heule X., De Paepe M., Lecompte S., *Two-Phase Volumetric Expanders: A Review of the State-of-the-Art*, “Energies” 2022, Vol. 15, Issue 14, p. 4991, doi: 10.3390/en15144991.
- [2] Francesconi M., Briola S., Antonelli M., *A Review on Two-Phase Volumetric Expanders and Their Applications*, “Applied Sciences” 2022, Vol. 12, Issue 20, p. 10328, doi: 10.3390/app122010328.

THE UTILIZATION OF PLASMA TECHNOLOGY IN THERMAL POWER PLANTS FOR TECHNICAL MODERNIZATION AND ENVIRONMENTAL SAFETY

WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII PLAZMOWEJ W ELEKTROWNIACH CIEPLNYCH DLA MODERNIZACJI TECHNICZNEJ I BEZPIECZEŃSTWA ŚRODOWISKA

Magzhan Orynbasar, Vladimir E. Messerle

Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi Kazakh National University

Corresponding author: orynbasarmaga@gmail.com

In the energy sector, coal is the main source for generating electricity and heat. This type of solid fuel has a huge reserve compared to other fossil fuels. Having such advantages, coal is burned in thermal power plants providing stable energy for consumers and leaving for the future development of this industry. Additional highly reactive fuels (fuel oil or natural gas) are required to burn solid fuel for heating boilers of thermal power plants. The rapid rise in prices for fuel oil and natural gas, as well as the likelihood of an environmental disaster when burning these fuels leads to finding the best option. One of the innovative technologies without the use of additional fossil fuels is the utilization of a plasma-coal burner, where the main source is a plasma generator (plasmatron) that provides the output of the plasma torch. The plasma generator is powered by a direct electric current, forming an electric arc between the two electrodes and pumping high-speed air through the arc formation zone creating a plasma discharge. The torch at the output of the plasma generator can reach 10 000 K. It has a high concentration of energy, chemically active atoms (O, H, C), radicals (OH, CH, HO₂), ions (O₂⁻, H₂⁻, OH⁻, C⁺, H⁺) and electron gas promotes multiple accelerations of thermochemical transformations of fuel and oxidizer. For a plasma-coal burner, coal dust is burned instead of highly reactive fuel (fuel oil or natural gas). The electric arc plasma heats the air mixture (combustible gas + air) to the temperature of the volatile and partial gasification of the coke residue. Thus, a two-component fuel is obtained, which ignites in the boiler furnace and burns steadily without additional fuel (Fig. 1).

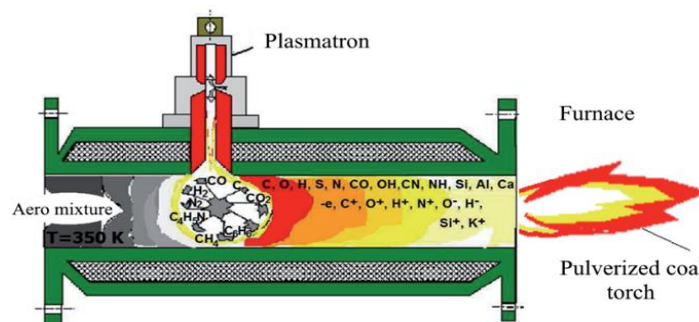


Fig. 1. The general scheme of the plasma-coal burner (PCB)

References

- [1] Messerle V.E., Ustimenko A.B., *Plasma ignition and gorenje solid fuels, Scientific and technical basis*, Palmarium Academic Publishing, Saarbrücken, Germany, 2012.
- [2] Messerle A.V., Messerle V.E., Ustimenko A.B., *Plasma Thermochemical Preparation for the Combustion of Pulverized Coal Fuel*, “High Temperature Thermophysics.” 2017, pp. 366–374, doi: 10.7868/s0040364417030140.

Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej są do nabycia w sprzedaży wysyłkowej
zamawianie.książek@pwr.edu.pl

ISBN 978-83-7493-225-7