

II edycja XII Konferencji  
**MŁODZI  
W ENERGETYCE**



**KSIĄŻKA STRESZCZEŃ**



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

II edition of the XII Conference  
**YOUNG SCIENTISTS  
IN POWER ENGINEERING**



**BOOK OF ABSTRACTS**

**II edycja XII Konferencji  
„Młodzi w Energetyce”**

# **KSIĄŻKA STRESZCZEŃ**

Praca zbiorowa pod redakcją  
Henryka Kudeli, Macieja Cholewińskiego  
i Artura Machalskiego



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej  
Wrocław 2020

Kolegium redakcyjne:  
Henryk Kudela, Maciej Cholewiński, Artur Machalski

Opracowanie redakcyjne i korekta:  
Artur Machalski, Maciej Cholewiński

Obsługa konta mailowego:  
Żaneta Zajiczek, Anna Pacak, Mateusz Jackowski

Opieka nad stroną internetową:  
Maciej Cholewiński, Artur Machalski

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 2020

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 978-83-7493-156-4**

**DOI: 10.37190/KME2020**



# Spis treści

<b>Od Organizatorów</b>	<b>9</b>
<b>Sponsorzy i Partnerzy (Our sponsors and partners)</b>	<b>13</b>
<i>PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna</i> . . . . .	15
<i>Narodowe Centrum Badań i Rozwoju</i> . . . . .	16
<i>Symkom</i> . . . . .	18
<i>Energetyka Ciepła i Zawodowa</i> . . . . .	20
<b>Informacje o konferencji (About the conference)</b>	<b>21</b>
<b>Wykłady plenarne (Plenary lectures)</b>	<b>23</b>
<i>Gas hydrates – an untapped resource of energy</i> . . . . .	25
Amit Arora	
<i>Ewolucja pojęcia energii</i> . . . . .	27
Janusz Badur	
<i>Odnawialne źródła energii, jako jeden z filarów zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich</i> . . . . .	29
Lucjan Czardybon	
<i>Model – a właściwie brak modelu – restrukturyzacji polskiej energetyki A.D. 2020</i> . . . . .	32
Jerzy Łaskawiec	
<i>Wielkie wyzwanie: energia</i> . . . . .	34
Maciej Malski-Brodzicki	
<i>High-efficiency mini and micro heat exchangers for dispersed power generation</i> . . . . .	35
Dariusz Mikielewicz	
<i>Wykorzystanie fermentacji metanowej do odzysku energii z odpadów komunalnych</i> . . . . .	37
Przemysław Seruga	
<i>Możliwości modelowania zjawisk ciepłno-przepływowch z wykorzystaniem oprogramowania ANSYS</i> . . . . .	40
Piotr Buliński	
<b>I SESJA REFERATOWA: Innowacje w energetyce (Innovations in the power industry)</b>	<b>41</b>
<i>Wpływ emisyjności powierzchni na odzysk energii z fotowoltaiki z koncentratorami w warunkach niskiego ciśnienia atmosferycznego z wykorzystaniem zjawisk termoelektrycznych</i> . . . . .	43
Korneliusz Sierpowski, Ziemowit Malecha	
<i>Modelowanie numeryczne układu rura w rurze wykorzystywanego do chłodzenia rurociągu pary o parametrach ultra-nadkrytycznych</i> . . . . .	45
Mariusz Granda	

<i>Porównanie produkcji gazu w procesie pirolizy i zgazowania biomasy z ograniczeniem emisji dwutlenku węgla . . . . .</i>	47
Maciej Śliz, Aneta Magdziarz, Małgorzata Wilk	
<i>Wpływ modelowania fazy gazowej na symulacje CFD zgazowania węgla . . . . .</i>	49
Jakub Mularski, Norbert Modliński	
<i>Analiza ekonomiczna wdrożenia nitracji na głównym ciągu oczyszczalni ścieków . . . . .</i>	51
Krzysztof Ratkiewicz, Dominika Kołbuc	
<i>Złożony system pomiarowy urządzenia termoakustycznego: wybrane zagadnienia projektowe i eksploatacyjne . . . . .</i>	53
Krzysztof Grzywnowicz, Leszek Remiorz	

## **II SESJA REFERATOWA: Budowa i eksploatacja systemów energetycznych (Development and operation of power systems) 55**

<i>Zastosowanie przesuwnej okna czasowego do adaptacji modelu prognozowania zapotrzebowania na ciepło dla miejskiej sieci ciepłowniczej . . . . .</i>	57
Maciej Bujalski, Paweł Madejski, Krzysztof Fuzowski	
<i>Koncepcja integracji bloku jądrowego z reaktorem PWR z siecią ciepłowniczą Trójmiasta . . . . .</i>	59
Maciej Cholewiński	
<i>Możliwości wykorzystania energii geotermalnej w Wielkopolsce – modernizacja systemu ciepłowniczego Nowego Tomysła . . . . .</i>	61
Jakub Szymiczek	
<i>Technologie odzysku wody ze ścieków na cele energetyczne . . . . .</i>	63
Krystian Czuba	
<i>Beton konopny jako materiał izolacyjny do zastosowań w zrównoważonym budownictwie . . . . .</i>	65
Igor Klementowski, Sławomir Pochwała, Anna Król	
<i>Istota poszczególnych składowych w instalacji opartej na pracy pompy ciepła wspomaganiej przez ogniwa PVT i kolektory słoneczne . . . . .</i>	67
Natalia Generowicz	

## **III SESJA REFERATOWA: Maszyny i urządzenia energetyczne – okiem studenta (Power machinery and devices – through a young eye) 69**

<i>Stanowisko laboratoryjne do badania miniaturowego silnika turboodrzutowego GTM140 . . . . .</i>	71
Łukasz Ptaszek	
<i>Ocena możliwości współpalania wodoru w turbinach dużej mocy z wykorzystaniem modelowania termodynamicznego . . . . .</i>	73
Martyna Rojczyk	
<i>Projekt stanowiska pomiarowego dla turbiny wiatrowej o poziomej osi obrotu . . . . .</i>	75
Weronika Świat, Joanna Zdonek	
<i>Opracowanie obudowy akumulatora działającego w systemie off-grid przystosowanego do pracy w ekstremalnych warunkach temperaturowych . . . . .</i>	76
Filip Bienek, Mateusz Wiciak, Wojciech Sułkowski, Ida Wilczek, Anna Granieczny, Adam Miliński	
<i>Wpływ procesu przetapiania na mikrostrukturę powłok Ni-Cr-Re natrykiwanych plazmowo . . . . .</i>	78
Justyna Kurzeja	

<b>IV SESJA REFERATOWA: Paliwa oraz technologie alternatywne – okiem studenta (Alternative fuels and power technologies – through a young eye)</b>	<b>79</b>
<i>Optymalizacja procesu peletyzacji fusów po parzeniu kawy jako waloryzacja niskogatunkowej biomasy odpadowej na cele energetyczne . . . . .</i>	<i>81</i>
Anna Waloszyńska, Krzysztof Mościcki	
<i>Prażenie i współprażenie zboża na cele browarnicze . . . . .</i>	<i>83</i>
Bartosz Pałka, Krzysztof Mościcki, Mateusz Jackowski	
<i>Barwnikowe mikroogniwa fotowoltaiczne . . . . .</i>	<i>85</i>
Mikita Davykoza, Roman Szafran	
<i>Projekt autonomicznej energetycznie łodzi solarnej wyposażonej w hydroskrzydła . . . . .</i>	<i>87</i>
Robert Płaczek, Adrian Banachowicz	
<i>Ścieki jako źródło ciepła odpadowego w budownictwie mieszkalnym . . . . .</i>	<i>89</i>
Beata Piotrowska	
<b>V SESJA REFERATOWA: Eksploatacja maszyn i urządzeń energetycznych (Operation of power machinery and devices)</b>	<b>91</b>
<i>Wpływ zanieczyszczeń obecnych w olejach eksploatowanych w przekładniach górniczych na trwałość elementów maszyn zosadzonymi cienkimi powłokami przeciwzużyciowymi . . . . .</i>	<i>93</i>
Michał Michalak, Remigiusz Michalczewski, Waldemar Tuszyński, Andrzej Wiczorek, Elżbieta Rogoś, Edyta Osuch-Słomka	
<i>Wpływ geometrii materaca wodnego dla bydła mlecznego na efektywność wymiany ciepła na drodze przewodzenia: Projekt RadMAT . . . . .</i>	<i>95</i>
Jagoda Błotny, Sabina Rosiek-Pawłowska	
<i>Analiza modeli przewodzenia ciepła między powierzchniami pozostającymi w kontakcie . . . . .</i>	<i>97</i>
Aleksandra Przyłucka, Marcin Rywotycki, Agnieszka Cebo-Rudnicka	
<i>Analiza ładowania zbiornika gorącej wody o pojemności cieplnej 75 MWh . . . . .</i>	<i>98</i>
Patryk Peret	
<i>Analiza i charakterystyka różnych typów katalizatorów wykorzystywanych w procesie zgazowania w celu poprawy jakości produktów końcowych . . . . .</i>	<i>100</i>
Małgorzata Sieradzka, Aneta Magdziarz	
<i>Determinanty wyboru lokalizacji źródeł odnawialnych i magazynów energii . . . . .</i>	<i>102</i>
Katarzyna Myślińska, dr hab. inż. Marek Bogacki	
<b>VI SESJA REFERATOWA: Gospodarka odpadami (Waste management)</b>	<b>105</b>
<i>Możliwość zagospodarowania popiołów lotnych z termicznego przekształcania komunalnych osadów ściekowych w budownictwie wodnym . . . . .</i>	<i>107</i>
Łukasz Szarek	
<i>Odsiarczanie spalin metodą pól suchą - zagospodarowanie odpadów . . . . .</i>	<i>110</i>
Marta Plaskacz-Dziuba, Marcin Cichosz	
<i>Badania wstępne zależności pomiędzy zawartością rtęci a zawartością popiołu i siarki w wybranych grupach odpadów . . . . .</i>	<i>111</i>
Marcelina Bury, Piotr Burmistrz	
<i>Krytyczny przegląd plazmowych instalacji do utylizacji odpadów w odniesieniu do doświadczeń własnych . . . . .</i>	<i>112</i>
Tadeusz Mączka, Halina Pawlak-Kruczek, Marcin Baranowski, Michał Czerep	

<i>Higienizacja ścieków w dobie wirusa SARS-CoV-2</i> . . . . .	113
Klaudia Czerwińska, Małgorzata Wilk	
<i>Landfill mining: Exploring the suitability of pyrolysis as a method of excavated waste valorization</i> . . .	115
Katarzyna Jagodzińska, Pär Göran Jönsson, Weihong Yang	

**SESJA POSTEROWA (Poster session) 117**

<i>Stan wiedzy na temat badań w obszarze spalania biomasy w oparciu o metodę pętli tlenkowej</i> . . . . .	119
Artur Skalny	
<i>Analiza światowych osiągnięć w zakresie badań ze spalaniem węgla z zastosowaniem metody CD-CLC</i> . . . . .	120
Zuzanna Skitaniak, Ewelina Ksepko	
<i>Ocena zastosowania różnych odpadów do produkcji kompozytów sztywnej pianki poliuretanowej</i> . . . .	122
Beata Zygmunt-Kowalska	
<i>Badania spalania polskiego węgla w układzie sprzężonym mikroreaktor-GC z zastosowaniem pętli chemicznej i mieszanin tlenków manganu</i> . . . . .	124
Magdalena Szkuta, Artur Krezlak, Ewelina Ksepko	
<i>Wykorzystanie energii wody w starożytnym Rzymie</i> . . . . .	125
Iwona Feier	
<i>Zapotrzebowanie na energię w przemyśle browarniczym</i> . . . . .	126
Aleksandra Modzelewska, Mateusz Jackowski	
<i>Analiza procesu torfikacji Miskantusa</i> . . . . .	128
Wiktoria Lewandowska, Szymon Szufa	
<i>Inżynieria defektów w HKUST-1 do celów magazynowania gazów</i> . . . . .	130
Marta Archutowska, Paulina Jagódka, Ewelina Ksepko	
<i>Wykorzystanie ścieków z przemysłu spożywczego do produkcji biomasy mikroalg przeznaczonej na cele energetyczne</i> . . . . .	131
Karolina Dziosa, Monika Makowska	
<i>Przekształtnik energoelektroniczny do współpracy z generatorami termoelektrycznym</i> . . . . .	133
Mirosław Mrozek, Anzej Majcher, Mirosław Neska	
<i>Wystodziny browarnicze jako alternatywne źródło energii</i> . . . . .	135
Kacper Jagiełło, Oliwia Uchańska	
<i>Ultrafiltracyjne oczyszczanie ciekłej frakcji pofermentu z biogazowni odpadów komunalnych z użyciem płaskich membran ceramicznych</i> . . . . .	137
Agnieszka Urbanowska, Małgorzata Kabsch-Korbutowicz	
<i>Kinetyka procesu szybkiej pirolizy wystodzin z produkcji piwa jęczmiennego i pszenicznego</i> . . . . .	139
Mateusz Jackowski, Łukasz Niedźwiecki, Monika Tkaczuk-Serafin, Anna Trusek, Marcin Baranowski, Halina Pawlak-Kruczek	
<i>Badania eksperymentalne i numeryczne wpływu położenia przyston wirnika Vortexna parametry pracy pompy o swobodnym przepływie</i> . . . . .	141
Artur Machalski	
<i>Thermal plasma application for waste processing</i> . . . . .	143
Alfred L. Mosse	

<b>VII SESJA REFERATOWA: Procesy spalania i CFD – teoria i praktyka (Combustion processes and CFD – theory and practice)</b>	<b>145</b>
<i>Temperature, pressure and inert gas influence on propagation velocity of propane-air laminar flames . . . . .</i>	<i>147</i>
Maria Mitu, Venera Giurcan, Codina Movileanu, Domnina Razus, Dumitru Oancea	
<i>Burning velocities of CH<sub>4</sub>-N<sub>2</sub>O-N<sub>2</sub> mixtures. influence of initial pressure and N<sub>2</sub> concentration . . . .</i>	<i>148</i>
Venera Giurcan, Domnina Razus, Maria Mitu, Codina Movileanu, Dumitru Oancea	
<i>Maximum experimental safe gap of propane-air: the effects of pressure change and of inert addition . . . . .</i>	<i>149</i>
Codina Movileanu, Domnina Razus, Maria Mitu, Venera Giurcan, Dumitru Oancea	
<i>Risk assessment of explosive reactions in condensed systems using isoperibolic calorimetry . . . . .</i>	<i>150</i>
Jeanina Pandele Cusu, Adina Magdalena Musuc, Dumitru Oancea	
<i>Effect of hydrogen amount on NO<sub>x</sub> emissions and performance parameters of a CI engine . . . . .</i>	<i>152</i>
Ilker Turgut Yilmaz	
<i>Internal flue gas recirculation system in the gas microturbine as a way for the co-combustion of higher enriched hydrogen fuel . . . . .</i>	<i>153</i>
Jean-Marc Fafara, Norbert Modliński	
<i>Computational Fluid Dynamics simulation of gas-liquid multiphase flow in T-junction for CO<sub>2</sub> separation . . . . .</i>	<i>155</i>
Sylwia Wrzesień, Paweł Madejski, Paweł Ziółkowski	
<b>VIII SESJA REFERATOWA: Paliwa alternatywne i technologie energetyczne nowej generacji (Alternative fuels and power technologies)</b>	<b>157</b>
<i>Analysis of sewage sludge with straw co-firing on the basis of thermogravimetric analysis . . . . .</i>	<i>159</i>
Navaneethan Subramanian, Paweł Madejski, Halina Pawlak-Kruczek, Michał Ostrycharczyk, Monika Serafin-Tkaczuk, Mateusz Kowal, Amit Arora	
<i>Wet torrefaction of the digestate from anaerobic digestion process . . . . .</i>	<i>161</i>
Michał Płoszczyca, Christian Aragon-Briceño, Krzysztof Mościcki, Łukasz Niedźwiecki, Artur Pożarlik, Eddy Bramer, Gerrit Brem, Halina Pawlak-Kruczek	
<i>Application of polyamide 6 as a phase change material-preliminary studies . . . . .</i>	<i>163</i>
Natalia Rażny	
<i>Design of a novel biomass pyrogasification process with an integrated sorption-shift system for hydrogen and carbon production . . . . .</i>	<i>165</i>
Jesse Buiteveld, Eddy Bramer, Gerrit Brem	
<i>Analysis and optimization of fuel cells . . . . .</i>	<i>167</i>
Rafael Gallegos González	
<i>Design and performance evaluation of an inclined nozzles and combustor of a downdraft biomass gasifier for tar reduction . . . . .</i>	<i>169</i>
Mashiur Rahman	
<i>Potential for using banana peel for biochar production . . . . .</i>	<i>171</i>
Guilherme Bampi Righeto, Regina Célia Espinosa Modolo, Paulo Wander, Carlos Alberto Mendes Moraes	
<i>An accurate mathematical predictive model for methane hydrate swapping with carbon dioxide . . . .</i>	<i>173</i>
Shadman Hasan Khan, Chandrajit Balomajumder, Amit Arora	

<i>Fault detection method based on an automated operating envelope during transient states for the large turbomachinery</i> . . . . .	176
Tomasz Barszcz, Mateusz Zabaryło	

**IX SESJA REFERATOWA: Chłodnictwo i kriogenika** **179**  
**(Refrigeration, cooling systems and cryogenics)**

<i>Chłodzenie adsorpcyjne z wykorzystaniem źródeł fluidalnych</i> . . . . .	181
Piotr Boruta, Tomasz Bujok	
<i>Przegląd aktywnych systemów chłodzenia wykorzystywanych do niwelowania stresu cieplnego występującego u krów mlecznych: projekt Radmat</i> . . . . .	183
Kamila Gębarowska, Sabina Rosiek-Pawłowska	
<i>Badania numeryczne i eksperymentalne miniaturowej chłodziarki Joule'a-Thomsona wykonanej w technologii LTCC</i> . . . . .	185
Błażej Baran	
<i>Badania numeryczne możliwości intensyfikacji wymiany ciepła wykorzystując zjawisko streamingu akustycznego.</i> . . . . .	186
Krystian Machaj, Ziemowit Malecha	
<i>Wpływ ciśnienia wody oraz odległości od dyszy na gęstość strumienia ciepła przejmowanego przy wrzeniu podczas chłodzenia laminarnego</i> . . . . .	187
Kamil Jasiewicz, Elżbieta Jasiewicz, Beata Hadała, Agnieszka Cebo-Rudnicka, Zbigniew Malinowski	
<i>Analiza eksperymentalna testowego regazyfikatora kriogenicznego w systemie samochodowym</i> . . . . .	189
Jakub Kielar	

**X SESJA REFERATOWA: Maszyny przepływowe oraz magazyny energii** **191**  
**(Fluid-flow machinery and energy storage systems)**

<i>Numeryczne badanie wybranych parametrów geometrycznych wentylatora promieniowego o zabudowie osiowej</i> . . . . .	193
Tomasz Kuś, Tomasz Siwek	
<i>Dobór sposobu dekontaminacji zbiorników magazynowych ropy</i> . . . . .	195
Michał Czerep, Janusz Rogula, Halina Pawlak-Kruczek, Piotr Stemporski, Wojciech Krasodowski	
<i>Analiza dynamiki zmian poziomu wody w piezometrach zapory Dobczyce w latach 2017–2019</i> . . . . .	197
Stanisław Lach	
<i>Odlewane metaliczne struktury przestrzenne do zastosowań w zeolitowych akumulatorach ciepła</i> . . . . .	198
Jakub Grzęda, Anna Dmitruk, Krzysztof Naplocha	
<i>Numeryczne modelowanie wpływu konstrukcji zmiennofazowego akumulatora ciepła na jego parametry pracy</i> . . . . .	199
Beata Pytlik, Daniel Smykowski, Piotr Szulc	
<i>Wpływ metod obliczeniowych spiralnego kanału zbiorczego na parametry pracy pomp</i> . . . . .	201
Anna Czernobrowa, Oleksandr Moloshnyi, Przemysław Szulc	



## OD ORGANIZATORÓW

Konferencja „Młodzi w Energetyce” ma na celu promowanie działalności naukowej młodego pokolenia naukowców związanych z szeroko rozumianą energetyką oraz zacieśnianie relacji na linii przemysł-nauka. Organizowane przez Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej coroczne spotkania są doskonałą okazją do zapoznania się ofertą badawczą uczestniczących w nich studentów, kół naukowych, doktorantów, młodych doktorów i doświadczonych pracowników uczelni wyższych oraz nawiązania wieloletnich kontaktów z naukowcami i przedsiębiorcami. Chcielibyśmy, aby nasza oferta była także inkubatorem nowych pomysłów oraz prowadziła do komercjalizacji prac badawczych w ścisłej współpracy z branżą energetyczną. Z tego względu gorąco zachęcam do wzięcia udziału w II edycji XII KME, która odbędzie się już w grudniu 2020 roku. W jej ramach oferujemy także bogatą ofertę promocyjno-reklamową – zapraszam zainteresowane przedsiębiorstwa do dołączenia do grona naszych Sponsorów!

prof. dr hab. inż. Henryk Kudela  
Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego  
II edycji XII Konferencji „Młodzi w Energetyce”

<http://kme.pwr.edu.pl/>  
<https://wme.pwr.edu.pl/>  
<https://pwr.edu.pl/>  
<https://pgegiek.pl/strona-glowna>  
<https://www.kierunekenergetyka.pl/magazyn.html>  
<http://www.oficyna.pwr.edu.pl/>  
[kme@pwr.edu.pl](mailto:kme@pwr.edu.pl)

Organizatorem Konferencji był  
**Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej**



**Politechnika  
Wrocławska**



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

Głównym sponsorem obrad została  
**PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A.**



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

<https://pgegiek.pl/>

Patronat medialny nad II edycją XII KME objął  
magazyn „Energetyka ciepła i zawodowa”



<https://www.kierunekenergetyka.pl/magazyn.html>



Partnerem Konferencji była firma  
**SYMKOM - ANSYS Channel Partner**



<https://symkom.pl/>

Gościem specjalnym Konferencji było  
**Narodowe Centrum Badań i Rozwoju**



<https://www.ncbr.gov.pl/>

Partnerem Konferencji była  
**Fundacja na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju Rolnictwa  
Ziemi Śląskiej „RÓJ”**



<http://fundacja-roj.pl/>

**Serdecznie dziękujemy za okazane wsparcie!**



**SPONSORZY I PARTNERZY**  
**OUR SPONSORS AND PARTNERS**



wytwarzamy  
dobrą  
energię



PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna Spółka Akcyjna to jedna ze spółek wchodzących w skład Grupy Kapitałowej PGE – największego przedsiębiorstwa sektora elektroenergetycznego w Polsce. Podstawowym przedmiotem działalności spółki jest wydobywanie węgla brunatnego oraz wytwarzanie energii elektrycznej. W skład PGE GiEK wchodzi 6 oddziałów zlokalizowanych na terenie 4 województw. Centrala spółki znajduje się w Bełchatowie.

Spółka PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna jest największym producentem węgla brunatnego, którego wydobycie stanowi 87% w skali kraju, a także największym wytwórcą energii elektrycznej w Polsce – produkcja energii elektrycznej pokrywa w niektórych miesiącach ponad 33% zapotrzebowania systemu.\*





## **Podjmij pierwsze polskie wielkie wyzwanie i wygraj milion złotych!**

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w porozumieniu z ekspertami naukowymi postawiło wyzwanie, które jest technologiczną odpowiedzią na ważny, istniejący problem społeczny. Do rozwiązania zaprasza szerokie grono uczestników – od naukowców przez studentów i koła studenckie, po zespoły „garażowych” wynalazców i pasjonatów – dzięki niskiemu progowi wejścia każdy ma szansę na udział. Wyzwanie jest mierzalne i możliwe do osiągnięcia w rozsądnym czasie – dzięki temu na dużym, medialnym wydarzeniu finałowym wyłoni jednego zwycięzcę.

Zadaniem pierwszego polskiego Wielkiego Wyzwania jest opracowanie kompaktowego urządzenia, zdolnego do przekształcania energii wiatru na energię elektryczną w najefektywniejszy sposób, tj. tak, aby w założonym okresie czasu urządzenie zdołało jak największą część dostarczonej energii wiatru przetworzyć w energię elektryczną. Urządzenie musi być przystosowane do wykorzystania wiatru turbulentnego, cechującego się dużą zmiennością prędkości, gęstości oraz kierunku wiatru. Ponadto musi być przystosowane do wykorzystania przez użytkowników indywidualnych, być możliwie najcichsze oraz cechować się estetyką.





# WIELKIE WYZWANIE

energia

Zwycięski zespół zostanie wyłoniony podczas wielkiego wydarzenia finałowego zaplanowanego na sierpień 2021 roku i otrzyma nagrodę w postaci miliona złotych. Inicjatywa finansowania jest w ramach Funduszy Europejskich – Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój.

Dzięki postawieniu takiego wyzwania, NCBR dąży do zwiększenia udziału procentowego Odnawialnych Źródeł Energii w systemie energetycznym, ograniczenia smogu i redukcji emisji gazów cieplarnianych. Rozwiązanie da możliwość dostępu do energii elektrycznej poza siecią, a przede wszystkim przyczyni się do oszczędności w gospodarstwach domowych. W szerszym aspekcie NCBR chce zwiększyć świadomość ekologiczną i energetyczną społeczeństwa, zbudować proekologiczne postawy wśród społeczeństwa, ale także pobudzić innowacyjność w branży ekoenergetycznej.

**Więcej informacji nt. Wielkiego Wyzwania: Energia dostępnych jest na stronie:**

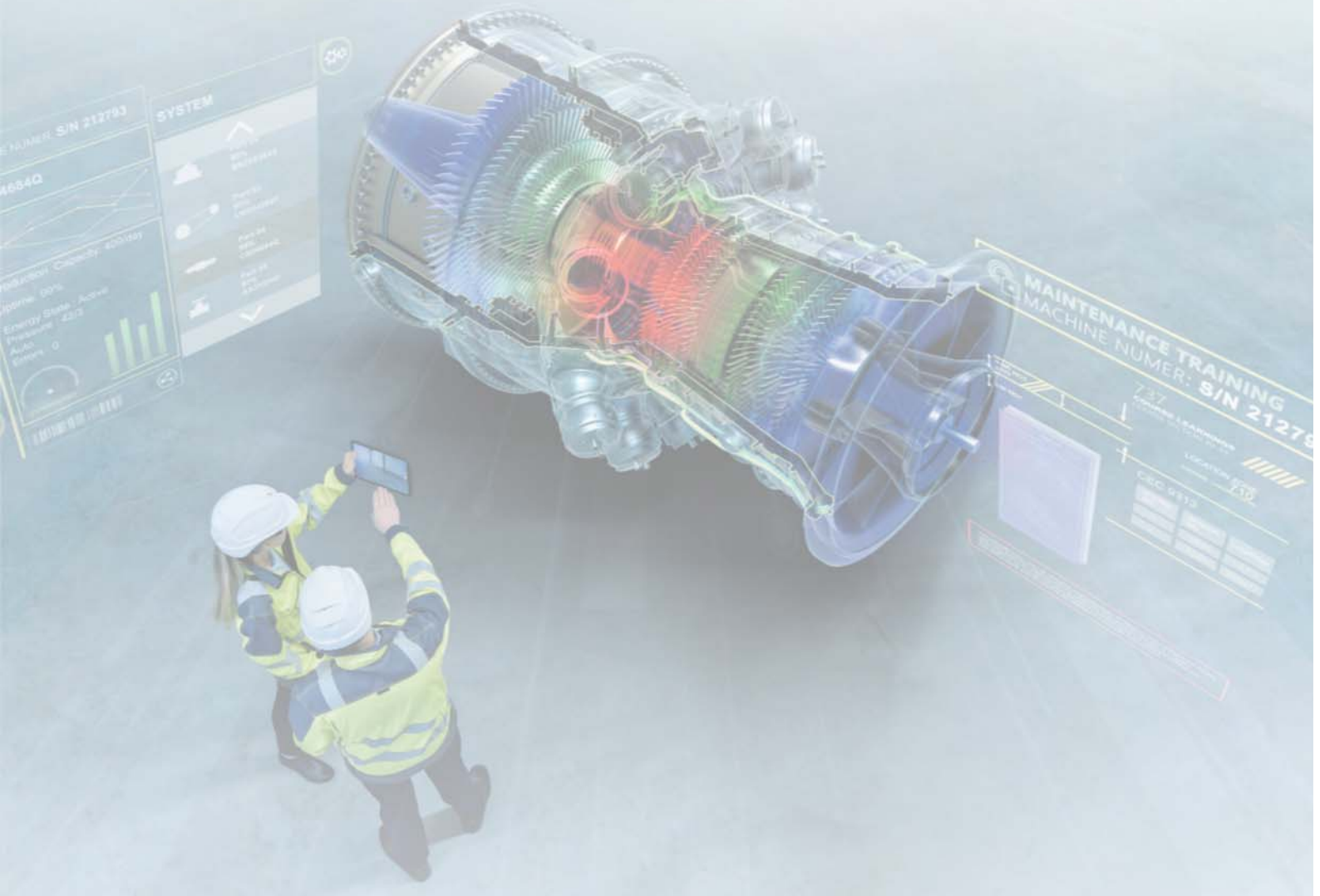
**[wielkiewyzwanie.pl](http://wielkiewyzwanie.pl)**





# SYMULACJE KOMPUTEROWE

*Liczymy z Wami od 1997 r.*





# SKĄD MIEĆ PEWNOŚĆ, ŻE TWÓJ POMYSŁ ZADZIAŁA?

## SPRAWDŹ

Symulacja komputerowa to wirtualne środowisko, w którym zweryfikujesz każdy, nawet najbardziej ambitny pomysł. Wszystko w ułamku czasu i kosztów (w porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami).

SKORZYSTAJ Z  
SYMULACJI KOMPUTEROWEJ,  
JEŚLI W SWOICH PROJEKTACH  
CHCESZ:



**Realizować**  
innowacyjne pomysły



**Zarządzać**  
skomplikowanymi realizacjami



**Obniżyć**  
koszty



**Skrócić**  
czas pracy



**Poprawić**  
jakość



**Wyeliminować**  
ryzyko

## WSPÓŁPRACUJ

W Symkom od 23 lat liczymy z Wami. Pomagamy i doradzamy w zastosowaniu symulacji komputerowej w wielu dziedzinach nauki i inżynierii. Już dwukrotnie zostaliśmy uhonorowani przez naszych Klientów nagrodami za wysokiej jakości obsługę klienta i merytoryczne wsparcie techniczne.

## DOŁĄCZ

### Ansys Academic Program

- 35 tys. euro na zakup oprogramowania Ansys
- Wsparcie szkoleniowe i marketingowe
- Udział w wydarzeniach organizowanych przez Symkom

### Ansys Student

- Darmowe oprogramowanie do nauki dla studentów
- Dostęp do portalu Ansys Student
- Portfolio obejmujące najważniejsze produkty Ansys

## Projekt Krajowego Serwera Licencji

Projekt realizowany z ICM Politechnika Warszawska. Zawiera **pakiet licencji** zawierający najbardziej popularne **solwery**. Otrzymasz również **dostęp do klastra obliczeniowego**, który daje możliwość uruchomienia bardzo dużych zadań obliczeniowych, **nawet do kilku tysięcy rdzeni**. Dodatkowo zapewniamy **pełne wsparcie techniczne Symkom**.

SKONTAKTUJ SIĘ Z NAMI

# NABIERZ ENERGII...

magazyn

sympozja, konferencje, webinaria

portal

m.in.

**Energetyka**  
— CIEPLNA I ZAWODOWA —



Symposium Naukowo-Techniczne  
**ENERGETYKA BEŁCHATÓW**



Symposium Naukowo-Techniczne  
**WIOSENNE SPOTKANIE CIEPŁOWNIKÓW**



**REMONTY I UTRZYMANIE RUCHU  
W ENERGETYCE**



kierunek**energetyka**.pl



budujemy możliwości  
porozumienia

...w energetyce



kierunek**bmp**.pl

# INFORMACJE O KONFERENCJI



## II EDYCJA XII KONFERENCJI „MŁODZI W ENERGETYCE”

9–11.12.2020 r., Wrocław  
Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny  
Konferencja przeprowadzona w całości zdalnie  
(w sposób synchroniczny) z wykorzystaniem  
platformy Microsoft Teams



### Komitet Organizacyjny:

prof. dr hab. inż. Henryk Kudela – Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego

mgr inż. Maciej Cholewiński  
mgr inż. Artur Machalski  
mgr inż. Anna Pacak  
mgr inż. Korneliusz Sierpowski  
mgr inż. Jean-Marc Fafara

mgr inż. Łukasz Niedźwiecki  
mgr inż. Mateusz Jackowski  
mgr inż. Jakub Mularski  
mgr inż. Żaneta Zajiczek

### Komitet Naukowy oraz recenzenci streszczeń:

prof. dr hab. inż. Henryk Kudela – Przewodniczący Komitetu Naukowego

prof. Gordon Andrews  
prof. Amit Arora  
prof. dr hab. inż. Janusz Badur  
prof. Edita Baltrėnaitė-Gedienė  
dr hab. inż. Jan Blachowski  
prof. dr hab. inż. Andrzej Bogusławski  
prof. dr inż. Gerrit Brem  
prof. dr hab. inż. Dariusz Butrymowicz  
prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak  
prof. dr hab. inż. Maciej Chorowski  
dr hab. inż. Tomasz Czakiert, prof. uczelni  
prof. dr hab. inż. Piotr Paweł Doerffer  
prof. dr hab. inż. Stanisław Drobnik  
prof. dr hab. inż. Witold Elsner  
dr hab. inż. Paweł Flaszyński, prof. IMP PAN  
prof. dr hab. inż. Małgorzata Kabsch-Korbutowicz  
dr hab. inż. Piotr Kolasiński, prof. uczelni  
dr hab. inż. Renata Krzyżyńska  
prof. Gwang Goo Lee  
dr hab. inż. Monika Maciejewska, prof. uczelni  
dr hab. inż. Paweł Madejski, prof. uczelni  
dr hab. Aneta Magdziarz, prof. uczelni  
dr hab. inż. Ziemowit Malecha, prof. uczelni  
prof. dr hab. inż. Dariusz Mikielewicz  
dr hab. inż. Norbert Modliński, prof. uczelni  
dr hab. inż. Wojciech Moroń, prof. uczelni

prof. dr hab. inż. Marek Morzyński  
dr inż. Magdalena Nemś  
dr hab. inż. Dorota Nowak-Woźny, prof. uczelni  
prof. dr hab. inż. Halina Pawlak-Kruczek  
dr hab. inż. Sławomir Pietrowicz, prof. uczelni  
prof. dr hab. inż. Janusz Plutecki  
dr hab. inż. Zbigniew Plutecki, prof. uczelni  
prof. dr hab. inż. Jacek Pozorski  
dr inż. Artur Pożarlik  
prof. dr hab. inż. Marek Pronobis  
prof. dr hab. inż. Kazimierz Rup  
prof. dr hab. inż. Wiesław Rybak  
dr inż. Przemysław Seruga  
dr Farooq Sher  
dr hab. inż. Mieczysław Struś, prof. uczelni  
dr hab. inż. Andrzej Szczurek, prof. uczelni  
dr hab. inż. Piotr Szulc, prof. uczelni  
dr hab. inż. Jacek Szumbariski, prof. uczelni  
prof. Quang Khanh Tran  
prof. dr hab. inż. Anna Trusek  
dr hab. inż. Sebastian Werle, prof. uczelni  
dr hab. inż. Małgorzata Wilk, prof. uczelni  
prof. Franz Winter  
dr Weihong Yang  
dr hab. inż. Bartosz Zajączkowski, prof. uczelni



## II EDYCJA XII KONFERENCJI „MŁODZI W ENERGETYCE”

9–11.12.2020 r., Wrocław  
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny  
Konferencja przeprowadzona w całości zdalnie  
(w sposób synchroniczny) z wykorzystaniem  
platformy Microsoft Teams



### **Patronat Honorowy nad Konferencją objęli:**

prof. dr inż. Arkadiusz Wójs – JM Rektor Politechniki Wrocławskiej, dr hab. inż. Piotr Szulc, prof. uczelni – Dziekan Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej, Oktawian Leśniewski – p.o. Dyrektora Oddziału, Dyrektor Techniczny PGE GiEK S.A. Oddział Elektrownia Turów, dr inż. Jerzy Łaskawiec – Południowo-Zachodnia Grupa Energetyczna Sp. z o.o., Lucjan Czardybon – Prezes Fundacji na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju Rolnictwa Ziemi Śląskiej „Rój”

### **Konferencja została zrealizowana dzięki wsparciu następujących Sponsorów i Partnerów:**

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej, PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A., CLIMBEX Sp. z o.o., Redakcja magazynu „Energetyka Ciepła i Zawodowa”, Symkom – ANSYS Channel Partner, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Fundacja na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju Rolnictwa Ziemi Śląskiej „Rój”

**WYKŁADY PLENARNE**  
**PLENNARY LECTURES**



## GAS HYDRATES – AN UNTAPPED RESOURCE OF ENERGY

*Amit Arora*

*Shaheed Bhagat Singh State Technical Campus, Ferozepur, Punjab, India*

Natural gas hydrates are crystalline compounds formed at natural sites having high pressure and low temperature [1]. They contain carbon almost double than the fossil fuel [2]. The talk will deliver the various fundamentals, their energy potentials, the techniques for their exploitation, the challenges associated with their dissociation. Figure 1 describes the global resources of Gas Hydrates [3, 4], recently released by the Hydrate Energy International (HEI) as a part of global energy assessment conducted by International Institute for Applied System Analysis (IIASA).

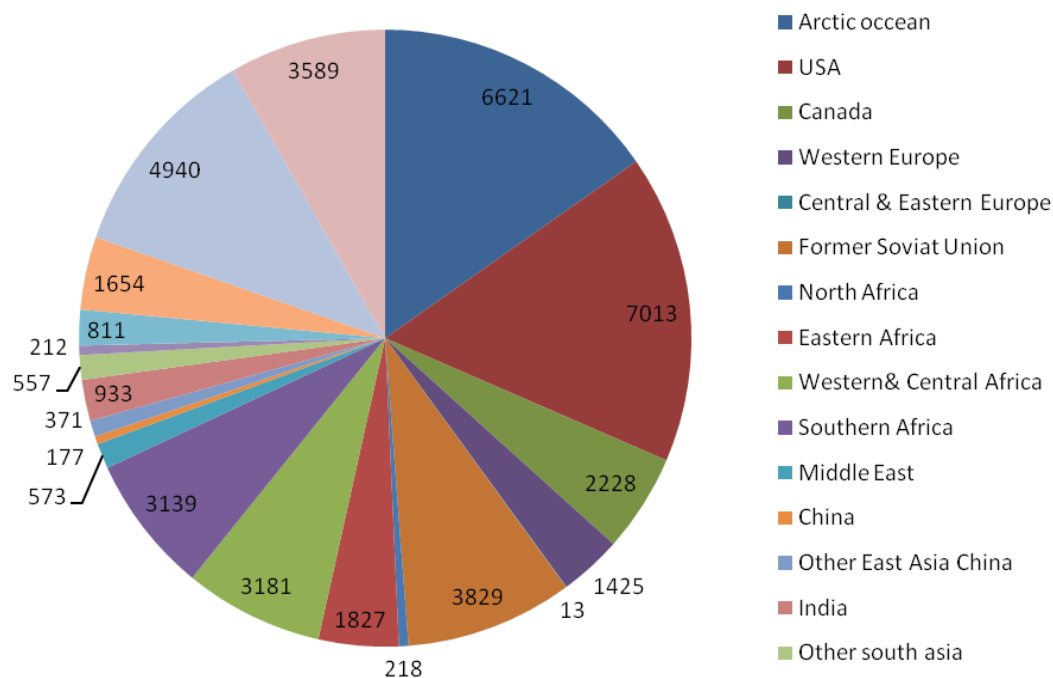


Fig. 1. Calculated Gas in-Place in Hydrate Bearing Sediments, Total Median = 43,311 tcf (Median, tcf – trillion cubic feet), released by the Hydrate Energy International (HEI)

There is considerable interest from large countries such as China and India which are growing at rapid pace and they are in the need of a dependable source of energy so that the growth rate can be maintained. Hence, the accessibility of such a source of energy becomes of great importance for India, if a commercially feasible recovery system can be developed. Countries like Japan, USA, and Korea also have restricted domestic reserves of conventional hydrocarbons; therefore Natural Gas Hydrates are of equal significance for them.

Currently the techniques used for the dissociation of the gas hydrates are depressurisation, thermal stimulation, CO<sub>2</sub> sequestration, etc. Every technique has its own advantages and disadvantages. CO<sub>2</sub> sequestration is one such technique that it can exploit this vast resource of energy and side by side it can reduce the global warming. Currently we don't have any economic as well as viable technique for their exploitation and if we are able to design an economic and viable technique for their exploitation then we don't need any recourse of energy for many centuries for our future generation and this will be the best gift we can give to human kind. Currently we are designing few technologies for their economic exploitation at lab scale.

There is a recent testing done in Japan and China for taking energy from this vast source of energy. India too has completed National Gas Hydrate Programme (NGHP 01 and NGHP 02) recently. Many lessons are learnt out of these tests and long term testing is planned keeping into considerations the lessons learned from these events. Looking at the efforts at global level it seems that we will have an economic and viable technology for the dissociation of this vast resource in near future very soon and soon gas hydrates will sustain the energy requirement of the world for a very longer time.

## References

- [1] Sloan E.D., *Clathrate hydrate of natural gases*, “Marcel Dekker CRC Press” 1990, New York.
- [2] Kvenvolden K.A., *Gas hydrates-Geological perspective and global change*, “Rev Geophys” 1993, Vol. 31, pp. 173–187.
- [3] Collet T.S., Johnson A.H., Knapp C.C. and Boswell R.M., *Natural Gas Hydrates – Energy Resource Potential and Associated Geologic Hazards*, “American Association of Petroleum Geologists Memoir” 2009, Vol. 89, pp. 137.
- [4] Max M.D., Johnson A. and Dillon W.P., *Economic Geology of Natural Gas Hydrate*, “Springer” 2006, Berlin Dordrecht, pp. 341.



## EWOLUCJA POJĘCIA ENERGII

### AN EVOLUTION OF THE DEFINITION OF ENERGY

Janusz Badur

*Zakład Konwersji Energii, Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szwalskiego Polskiej Akademii Nauk*

Z 30-letnich historycznych badań przeprowadzonych przez autora i zawartych w monografii pt. *Rozwój Pojęcia Energii* (Wyd. IMP, Gdańsk 2009) wynika, iż wprowadzenie, definiowanie i używanie pojęcia „energia” w cywilizacji Zachodu odbywało się niezależnie w ramach trzech nurtów (pradygmatów) poznawczych: realizmu arystotelesowskiego, idealizmu platońsko-pitagoryjskiego oraz atomizmu demokrytyjskiego.

Nurt arystotelesowski należy do ewenementu w całej historii nauki. Reprezentuje on to, co historycy zwykli nazywać „zapomnianą rewolucją”, a którą autor definiuje jako „energetykę arystotelesowską”. Nazwanie bowiem wspomnianego nurtu „termodynamiką arystotelesowską” – jak to czynią niektórzy prominentni historycy – przyniosłoby wielką ujmę nauce greckiej i hellenistycznej. W toku badań odkryto „30 utraconych szans rozwojowych” energetyki Arystotelesa, ich współczesny wyraz oraz przyczyny upadku.

W historii występują cztery renesanse energetyki arystotelesowskiej. Pierwszy wystąpił wraz ze średniowiecznym renesansem nauki i poprzez energetykę św. Tomasza z Akwinu, energetykę częściowo-archimedejską Rogera Bacona i energetykę częściowo-pitagorejską kard. Mikołaja z Kuzy przeszedł z teologii spekulatywnej do filozofii przyrody. Renesans drugi to renesans camotowski – był on pochodzenia francuskiego i brał się z wysiłków badawczych Lazara Carnot i jego syna Sadi Carnot. Przywrócono wtedy zapomniane pojęcia energetyki Arystotelesa, takie jak: energieja i entelechia oraz korecja i inercja oraz ekstensywne i intensywne parametry stanu. Jednak najważniejszym było właściwe arystotelesowskie ustawienie zasady niezmienniczości przyrody i dwóch praw energetyki wskazujących na zachowanie ilości energii i zachowanie jakości energii.

Trzeci renesans energetyki nastąpił około roku 1850 za sprawą Szkota Wiliama Rankine i Francuza Ferdinanda Reecha. Podnieśli oni wtedy naukę o konwersji energii na niebywałe wyżyny – tylko po to, aby następnie dać się zmiążyć silniejszym paradygmatom. Był to okres niezwykle krótki, obaj twórcy zostali skutecznie przezwyciężeni przez TermoDynamikę Williama Thomsona (podejście platońskie) i TermoMechanikę Clausiusa (podejście demokrytejskie).

Owe brutalne zepchnięcie energetyki Arystotelesa w przepastne lochy mrocznej historii wzbudziło jednak reakcję niemieckich chemików, którzy, wspierając się osiągnięciami chemii nieorganicznej i organicznej, na przełomie XIX i XX wieku zbudowali gmach energetyki (w przenośni i dosłownie) jako nowej „nauki wszystkiego”. Tak więc to model energetyki Wilhelma Ostwalda z 1903 był pierwszą, medialnie znaną „teorią wszystkiego”. Niestety, gubiąc arystotelesowską różnicę między potentia absoluta i potentia ordinata, dał się Ostwald zepchnąć w brutalny materializm i stwierdził następującą brednię, iż „materia jest energią a energia materią”. To był koniec energetyki – trafiła ona później na biurka genialnych logików: Russella i Whiteheada, którzy zadali jej ostateczny cios – sztyłem arystotelesowskiej logiki. Nie pomogła reanimacja Duhema, prowadzona w latach 1903–1916 – jej los był przesądzony.

Tymczasem „energia” drugiego nurtu – platońsko-pitagoryjskiego – rozwijała się w ramach szkoły termodynamiki Williama Thomsona – najpierw na Wyspach Brytyjskich, potem w koloniach, by na koniec przedyfundować na kontynent europejski. Ten nurt nie uznawał rankine’owskiego pojęcia „energia wewnętrzna”, nie uznawał definicji „entropii Rankine’a-Reecha”, nie uznawał arystotelesowskiej zasady tożsamości (mówiła ona, iż jest tylko jedna energia i nie są potrzebne kolejne graty badawcze na wyznaczenie kolejnych równoważników). Naśmiewano się wtedy z głównej tezy doktoratu Rankine’a (1855), mówiącej, iż „wszystkie równoważniki, te znane i te jeszcze nieznanne, mają wartość równą 1”. Termodynamikę przepelniały kolejne idee, a każda z nich kończyła swój żywot nową wersją drugiej zasady termodynamiki. W akcie wandalizmu Thomson zniszczył poprawną definicję temperatury absolutnej Rankine’a i wprowadził siłowe rozwiązanie w postaci definicji temperatury Kelvina – to rozwiązanie uczeni niemieckojęzyczni polubili bez wyraźnego umiaru, zadziałał tu bowiem autorytet von Helmholtza.

W zamieszaniu wokół platońskich zasad zachowania energii pojawiło się miejsce dla nurtu demokrytyjskiego – rozwijanego już wcześniej przez uczonych scholastyków w typie Siger z Brabantu czy jezuitę Boskovicza oraz antyarystotelesowskich badaczy z otoczenia Galileusza. Ten nurt patrzył cierpko na główną tezę energetyki Arystotelesa, głoszącą, iż „energia jest najważniejszym matematycznym niezmiennikiem ruchu perypatetycznego”. Uważał on, iż to nie energia jest niezmiennikiem głównym w grze przyrody – niezmiennikiem, na którego obserwację powinno się poświęcać najwięcej czasu. Miał on bowiem swojego innego ulubieńca i kandydata do roli władcy fizyki wariabilnej. Nurt ten posiadał swych zwolenników wszędzie, jego fanami byli m.in. Daniel Bernoulli, Laplace i Poisson (szczęśliwie krótko), ale kulminację osiągnął w pracach Rudolfa Clausiusa i Ludwika Boltzmanna. Clausius stwierdził, iż najważniejszym niezmiennikiem ruchu atomowego (już nie perypatetycznego) jest inny niezmiennik – taki, który nie podlega dotychczasowym prawom zachowania, podlega natomiast nowo odkrytemu „prawu półzachowania”. Ten niezmiennik Clausius nazwał entropią, a Boltzmann, stojąc na gruncie atomizmu Demokryta i Leucypa, wyznaczył „element entropii” zwany dziś stałą Boltzmanna. Ten trzeci nurt szybko opanował fizykę statystyczną i termodynamikę kwantową. W pewnym sensie fizyka kwantowa, oparta na dwóch porcjach (kwantach) wyznaczonych przez stałą Boltzmanna i stałą Plancka, rozpoczęła swój byt wcale nie od pracy Plancka w 1900 roku, ale już w 1887 roku - od wyznaczenia „elementu entropii”, czyli stałej  $k_B$ . Prawo półzachowania entropii rządzi dziś całą przyrodą, co pięć sekund mówią o nim media. Oznacza to nie mniej nie więcej, iż paradygmat demokrytyjski rządzi wszystkimi badawczo nastrojonymi umysłami.

Tak, niezwykle jest los pojęcia energii. Aktualnie pojęcie to, niczym brzydkie kaczątko, wypędzane nieustannie z poszczególnych nauk, siłą rzeczy znalazło się na bruku, gdzie przebywają już nauki tajemno-spekulatywne takie jak chiromancja, alchemia, jasnowidztwo, astrologia...

Cała doksa wyciera sobie nim usta, a ostatnio, w codziennych zmaganiach z przyrodą, dużo się też je koloryzuje mówiąc o energii zielonej, energii brązowej czy energii ciemnej. Taki stan rzeczy nazwać trzeba „inwolucją pojęcia energii”.

# ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII JAKO JEDEN Z FILARÓW ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU OBSZARÓW WIEJSKICH

## RENEWABLE ENERGY SOURCES AS A VITAL PART OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RURAL AREAS

*Lucjan Czardybon*

*Fundacja na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju Rolnictwa Ziemi Śląskiej „RÓJ”*

Fundacja na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju Rolnictwa Ziemi Śląskiej „RÓJ” liczy już sobie dziesiąty rok. Ufundowana została przez siedem osób, które chciały stworzyć mechanizm komercjalizacji tego, co przedstawiane jest na salach wykładowych i w laboratoriach uczelni.

Jednym z dotychczasowych owoców jej działalności jest projekt nowego – o zupełnie innych priorytetach i zasadach – kierunku studiów: „Gospodarstwo wiejskie”. Absolwenci tego kierunku mają nie szukać pracy, ale – wkrótce po ukończeniu nauki – pracę dawać i ją organizować. Mają być wykształconymi „oficerami”. Wybrana specjalizacja kierunku ma spełniać nadzieje, oczekiwania i pasje studentów. Przynosić radość z tworzenia i jednoczesny dostatek. Od piątego semestru studenci mają – pod ścisłą opieką swoich mistrzów – rozpoczynać wybraną działalność gospodarczą. Co jednocześnie ważne, po uzyskaniu dyplomu kontakty absolwentów z nauczycielami i Fundacją miałyby zostać utrzymane i pielęgnowane – i to nie tylko w pierwszych latach po zakończeniu nauki i rozpoczęcia działalności zawodowej. Mają się wzajemnie wspomagać w niepowodzeniach, dzielić zdobytą wiedzę oraz owocami wspólnego wysiłku. Stąd nazwa „RÓJ” – jeden za wszystkich, wszyscy za jednego. Jak pszczoły.

Projekt kierunku jest kompletny – łącznie z deklaracjami przyszłej kadry i ustanowionymi praktykami stosowanymi w całej Europie. Kilkuletnie starania w MNiSW o akredytację kierunku do tej pory niestety nie powiodły się. Fundacja czeka jednak na sprzyjające okoliczności, aby powrócić do idei.

W oczekiwaniu realizujemy jednak także inne cele Fundacji. Identyfikujemy w środowisku wiejskim – i nie tylko wiejskim – przestrzenie wymagające aktywności, rozwoju, pomocy lub obrony. Tam, gdzie jest potrzeba i tam, gdzie to możliwe gromadzimy najlepszych fachowców, analizujemy okoliczności, gromadzimy fundusze, mobilizujemy ludzi, budzimy w nich optymizm, przelamujemy zwątpienie – przypominając o szczytnym celu podejmowanego wysiłku. Bardzo często przynosi to sukces, czego wyrazem mogą być liczne szkolenia oraz inicjatywy podejmowane na uczelniach.

Fundacja zajmuje się wieloma aspektami środowiska wiejskiego: owczarstwem, pszczelarstwem, gospodarką łowiecką, przetwórstwem żywności, obrotem produktami rolnymi i przetworami, podnoszeniem różnorodnej, pozytywnej wiedzy w społeczności wiejskiej, promowaniem zrównoważonego rozwoju. Jednym z filarów tego ostatniego jest energetyka komunalna, w tym także ta zdywersyfikowana, oparta o proekologiczne rozwiązania i technologie. Odnawialne źródła energii to w naszej opinii – obok wspomnianej już produkcji rolnej i zwierzęcej, przetwórstwa, lokalnego obrotu towarami, podnoszeniem poziomu wykształcenia społeczeństwa wiejskiego, inicjatyw kształtujących klimat i krajobraz – klucz do zrównoważonego rozwoju obszarów wiejskich.

W środowisku wiejskim – z uwagi na jego specyfikę – mogą mieć zastosowanie niemal wszystkie znane źródła energii uznawanej za odnawialną:

- energia płynącej wody – i to pomimo iż nie jesteśmy krajem obfitującym w liczne i „pracowite” rzeki. Jednak nawet to, co mamy, wykorzystujemy w środowisku wiejskim w bardzo niewielkim stopniu,
- energia wiatru – mimo iż jest relatywnie niestabilna i posiada szereg ograniczeń w bezpośrednim wykorzystaniu, to wyposażona w różnorakie magazyny energii może być znaczącym źródłem czystej i taniej energii nie tylko w skali lokalnej. „Wiatraki” w okolicach każdej wsi to niedaleka przyszłość,

- energia elektryczna i ciepła z promieniowania słonecznego – wieś charakteryzuje się wielkimi przestrzeniami, dogodnymi dla budowy farm fotowoltaicznych i termosolarnych. Energia słoneczna jest wprawdzie niestabilna, ale – przy odpowiednim wykorzystaniu – bardzo tania. Wielkie są na wsi w tym względzie rezerwy,
- pompy ciepła – możliwe do montowania w rozproszonych siedzibach ludzkich, ale także w ogrodnictwie i chowie zwierząt – działalności wymagających znacznych ilości ciepła. Maszyny te wymagają wprawdzie zasilania, ale generowane za ich pośrednictwem ciepło jest znacząco tańsze od innych źródeł dostępnych na rynku,
- geotermika – ciepło wydobywane z głębokich (nawet liczących setki metrów) odwiertów w ziemi jest czyste i tańsze niż to z ciepłowni węglowych. Budowa źródeł geotermalnych – podobnie jak i wielu innych OZE – musi być poprzedzona badaniami, poszukiwaniami i rachunkiem ekonomicznym, co nie zmienia faktu, iż stanowi przyszłość energetyki komunalnej,
- biomasa – odpady roślinne z działalności rolniczej, a nawet specjalna produkcja biomasy, mogą być źródłem czystej i taniej energii oraz paliw. Determinuje to specyfika wsi oraz drzemiący w niej ogromny potencjał techniczny biopaliw i paliw alternatywnych.

Wszystkie wyżej wymienione, a często niedostatecznie niewykorzystywane, OZE to jedno, drugie to inteligentne używanie dostępnej energii. Kwestie wymagające naprawy nie znajdują się przy tym jedynie na wsi: zalicza się do nich m.in. energochłonność budynków, sprawność stosowanych maszyn i urządzeń domowych, sprawność silników spalinowych, oszczędność w lokalnej komunikacji. Problemów jest wiele: kilkaset ton żelastwa na szynach wiezie kilku pasażerów, nieadekwatna do potrzeb rynku masa pojazdów drogowych, marnotrawstwo żywności... Niektóre zakłady przemysłowe „napędzane” są, w imię używania paliw odnawialnych, pełnowartościowym ziarnem konsumpcyjnym, a równocześnie mamy kraje, gdzie głód i choroby w jego następstwie są największymi zabójcami.

Gdyby produkcja biopaliw płynnych (biodiesel, bioetanol) nie była w takim stopniu ograniczana polityką gospodarczą, wieś mogła być energetycznie zupełnie niezależna. Pamiętajmy, że obecnie (stan na 01.06.2019) w Polsce ok. 60% osób (23,1 mln) mieszka w miastach, a pozostałe 40% – na wsi (15,3 mln).

Jedną z dłużej wykorzystywanych w dziejach naszej cywilizacji formą energii jest energia płynącej wody. Ma ona też relatywnie niewiele wad w porównaniu do liczby zalet. Energia ta jest „czysta” – nie szkodzi środowisku, jest relatywnie stabilna, możemy ją pozyskiwać niemal wszędzie tam, gdzie płynie woda – zbiorniki zbudowane przy siłowniach spełniają przy tym ważne funkcje retencji, miejsca chowu ryb, nawadniania, rekreacji oraz przeciwpożarowe. Polska, ze względu na swój nizinny charakter a także niezbyt wilgotny klimat, nie jest przystosowana do prowadzenia wielkiej energetyki wodnej. Niemniej jednak z posiadanego potencjału wykorzystujemy nie więcej niż ok. 16 % tych ubogich darów naszej przyrody.

Szczególny upadek energetyki wodnej rozpoczął się z początkiem lat siedemdziesiątych, kiedy to wszechwładnie zapanowała energia z węgla. Bez oglądania się na szkody.

Obecnie pojawiają się jednak sprzyjające – prawne i ekonomiczne – warunki do odbudowy i ulepszenia energetyki wodnej. W 2019 roku Fundacja „RÓJ” zawarła porozumienie z Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu w sprawie współdziałania w budowie, odbudowie i użytkowaniu elektrowni wodnych we Wrocławiu, na Dolnym Śląsku i w całym kraju. Studenci Studenckiego Koła Naukowego Odnawialnych Źródeł Energii „BioEnergia” z ww. uczelni wyrazili wolę współpracy w tym przedsięwzięciu. Wspólnymi siłami powstało m.in. szkolenie “Odnawialne Źródła Energii – Małe Elektrownie Wodne” – szeroko konsultowane – dotyczące energetyki wodnej małych mocy, ukierunkowane nie tylko na teorię, ale przede wszystkim na praktykę. Fundacja pozyskała przychylną opinię Banku Santander, który to ufundował stypendia dla wszystkich słuchaczy szkolenia, do współpracy zaproszeni zostali nauczyciele i naukowcy o wielkiej wiedzy praktycznej z zakresu MEW.

Podczas pierwszego naboru dostępnych było 30 miejsc – zgłosiło się aż 72 chętnych z wielu uczelni wyższych. Szkolenie to zakończyło się sukcesem – obecnie przydzielamy uczestnikom tego szkolenia lokalizacje przyszłych małych elektrowni wodnych, co jest jednym z unikatowych aspektów prowadzonych przez nas konsultacji. Współpraca z uczestnikami opiera się na pracach pomocniczych Fundacji m.in. z tytułu gromadzenia dokumentacji, wypełnienia niezbędnych formalności oraz identyfikacji źródeł finansowania.

Fundacja przygotowuje się obecnie do ogłoszenia drugiego naboru na ww. szkolenie. Ma ono umożliwić każdemu entuzjaście małych elektrowni wodnych posiadanie własnej siłowni wodnej i jej sumienną eksploatację.

Mamy nadzieję, że za kilka lat liczba elektrowni wodnych na Dolnym Śląsku będzie większa niż w latach 40. XX wieku. Dzięki temu udział czystej energii w ogólnej puli używanej energii znacznie wzrośnie, a nasi studenci-absolwenci zapewnią sobie przy tym godziwe uposażenia.

Być może moje wystąpienie nieco odbiega od głównego nurtu Konferencji, jednakże przy jego okazji chciałbym jednak przekazać kilka pozytywnych dla każdego energetyka wszystkim myśli:

- Róbmy rzeczy pozytywne i szlachetne. Niech wszystkim nam służą, niech nie czynią szkód,
- Jeśli przedsięwzięcie ma wartość – ludzie z odpowiednimi funduszami sami się zgłoszą.
- Niech nam wystarczy optymizmu, cierpliwości, uporu i odwagi przy realizacji ambitnych projektów,
- Nawet na wielką górę można wejść. Trzeba do niej jednak bez kompleksów podejść i wykonać pierwszy krok, a potem następne.



# MODEL – A WŁAŚCIWIE BRAK MODELU – RESTRUKTURYZACJI POLSKIEJ ENERGETYKI A.D. 2020

## THE RESTRUCTURING PLAN – OR RATHER ITS ABSENCE – FOR POLISH POWER SECTOR AD 2020

*Jerzy Łaskawiec*

*Południowo-Zachodnia Grupa Energetyczna Sp. z o.o.*

Ciągła – i niestety tylko deklaratorywna – restrukturyzacja struktur polskiej energetyki, którym to strukturom nominalnie przypisano (w ustawie o działach) odpowiedzialność za bezpieczeństwo energetyczne, czyli bezpieczeństwo Państwa, bez jej sfinalizowania, to droga donikąd. Kolokwialnie mówiąc: „od samego mieszania łyżeczką herbata nie robi się słodsza”.

W wystąpieniu w pierwszej kolejności zostanie przedstawione kalendarium jałowych dyskusji nad tworzeniem „polityki energetycznej Polski do roku 2050”. Przypomnę, że ostatnia – już zupełnie nieaktualna – „Polityka energetyczna Polski do roku 2025” zakończyła swój los legislacyjny na początku 2012, kiedy to przyjęta została przez ówczesnego Prezesa Rady Ministrów. Dokument ten zastąpił obowiązujące wcześniej „Założenia polityki energetycznej Polski do 2020 r.”, które to z kolei opierały się na „Narodowym Planie Rozwoju na lata 2007–2013”. Potem miejsce miały już tylko zmiany kadencji sejmowych i zmiany rządów, przez co ostatecznego planu (stan na listopad 2020 r.) nie przyjęto.

Pojęcie, którym posługują się przedstawiciele władz – „odpowiedzialność jakiejś osoby za sektor energetyki” – w żadnej mierze u nas nie jest równoznaczne z odpowiedzialnością adekwatną do znaczenia tego zadania. Kończy się ono co najwyżej wymianą człowieka, nawet nie Trybunałem Stanu.

Codziennie Polska – ważny duży kraj europejski – importuje około 2000 MW, głównie ze Skandynawii (bezpośrednio i przez Litwę) i z Niemiec. Rezerwa mocy w dobrych dniach, poza okresami dużego zapotrzebowania w naszym KSE, to około 7000 MW, z tego zimna rezerwa wynosi 3700 MW, gorąca – 2800 MW. Jak są wiatry – takie jak przy przejściu frontów atmosferycznych – to moc wykorzystywana elektrowni wiatrowych wynosi ponad 2500 MW, a jak nie ma wiatru – to tyle, co w pamiętnych dniach tego lata w Kalifornii, czyli ZERO (wyłączono tam w sierpniu, w najnowocześniejszym stanie USA, zasilanie dla 1/3 odbiorców – wystąpił blackout, gdyż wyłączona była przy tym jedna z ich elektrowni jądrowych, innej nie można było uruchomić z rezerwy, a nie było przy tym wystarczającej ilości wiatru ani słońca – podobnie w sąsiednich stanach).

Mamy w naszym kraju 5 bloków o mocy jednostkowej ponad 850 MW. Awaryjne mogą i muszą się zdarzać. Wypadnięcie takiej mocy nie zawsze da się szybko pokryć rezerwą gorąca lub też importem, a jeśli tak – to za wysoką cenę. Po raz kolejny w Polsce pojawiają się tezy programu o naszej przyszłości energetycznej, w tym odchodzenia od węgla – na razie do roku 2040, ale nigdzie nie można znaleźć realistycznych założeń do ich realizacji. Aby powstał realny program (PROJEKT) muszą być znane – ale i zagwarantowane – wszelkie środki do niego prowadzące, musi być wyznaczony kierownik projektu – z ogromnymi uprawnieniami (a nie tylko z wielkim EGO), winien być także określony sponsor projektu (najlepiej Premier), który nie będzie przy tym zmieniany kilka razy w ciągu kadencji. Przede wszystkim zapewnione muszą zostać także konieczne zasoby materialne (gotówka lub kredyty), zasoby ludzkie, winny być także określone ryzyka, a ogólnie – profesjonalny project management. Każdy projekt z zasady musi być jednocześnie: specyficzny, mierzalny, ambitny i potrzebny, a nie tylko ambitny.

Zastanówmy się! Energetyka to przecież tylko technika, fizyka i w jakimś, choć w znacznym stopniu, polityka i ekonomia (i to nie w znaczeniu chwilowych uzysków – w tym zysków osób zarządzających). To jest poważna sprawa. Francis Fukuyama kilkanaście lat temu ogłosił „Koniec Historii”, wydawało mu się, że wszystko, co dobre, już ludzkość spotkało: dobrobyt, sprawiedliwość, sytość, wolność i nawet braterstwo. Liberalizm gospodarczy – lub jak kto woli neokonserwatyzm – wyczerpał (zrealizował) według niego i jego apolegetów wszystko,

o czym ludzkość marzy. Okazało to się bzdurą prawie kompletną. Podział obowiązków w zakresie świadczenia pracy, a z drugiej strony asymetria w zakresie korzystania z zasobów, jest już tak ewidentnie widoczny i drażniący, że musi to się skończyć buntem – oby w znacznej mierze nie krwawym.

Wielkie korporacje czy czebole gromadzące 80% całości nominalnych majątków świata to jednak główni obrońcy „starego”, ale mocno jeszcze się trzymającego świata. Polskie koncerny energetyczne – i podobne im organizacje – są jednak elementem jestestwa PANSTWA, naszego Państwa. Podobnie jak armia, oświata czy służba zdrowia – szczególnie teraz. Nikt w tych obszarach nie musi myśleć o utracie wartości giełdowej ich elementów. Muszą myśleć przede wszystkim o zabezpieczeniu bezpieczeństwa kraju, muszą być *must run*.

Mam nadzieję, że obecne, ogromne doświadczenie chorobowe, ta plaga dla nieprzygotowanego – jak się okazało – człowieka nauczy nas odróżniać rzeczy ważne od mniej ważnych. Dziki liberalizm zwany neokonserwatyzmem musi ewoluować w coś przynoszącego korzyści całemu światu (nie tylko ich światu, tym kilkunastu procentom ludzi i państw). Wiara w to może jest kolejną utopią. Trzeba jednak w COŚ w ten czas zarazy wierzyć!

Podczas wystąpienia powyższe tematy zostaną rozwinięte oraz dodatkowo omówione.

## WIELKIE WYZWANIE: ENERGIA

### GRAND CHALLENGE: ENERGY

*Maciej Malski-Brodzicki*  
*Narodowe Centrum Badań i Rozwoju*

Wielkie Wyzwanie to unikalna formuła nawiązująca do konkursów typu Grand Challenge zapoczątkowanych w 2004 roku przez amerykańską agencję DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*). Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w porozumieniu z ekspertami naukowymi stawia wyzwanie badawcze, które jest technologiczną odpowiedzią na ważny, istniejący problem społeczny. Do rozwiązania zapraszamy szerokie grono uczestników – od naukowców i przedsiębiorców, przez studentów i koła studenckie, po innowatorów, „garażowych” wynalazców i pasjonatów. Dzięki otwartej formule, minimum formalności i relatywnie niewielkim kosztom rozwiązania wyzwania każdy wynalazca ma szansę na udział. Wyzwanie jest mierzalne i możliwe do osiągnięcia w rozsądnym czasie – dzięki temu na dużym, medialnym wydarzeniu finałowym możemy wyłonić jednego zwycięzcę, który otrzyma nagrodę w postaci... jednego miliona złotych!

Pierwsze Wielkie Wyzwanie zostało ogłoszone, aby wesprzeć rozwój technologii małogabarytowych turbin wiatrowych. Obszar ten nie jest wykorzystany w pełni swoich możliwości i dlatego konieczna jest interwencja publiczna. Organizacja inicjatywy w obszarze zielonej energii ma także na celu przybliżenie społeczeństwu wielu rozwiązań, które do tej pory skrywane były w zaciszach laboratoryjnych lub w zakątkach umysłów wynalazców. To szansa na demonstrację technologii pracującej w warunkach rzeczywistych, czyli takich które będą zrozumiałe dla obecnej podczas Finału publiczności, wśród której mogą znaleźć się potencjalni inwestorzy lub przyszli nabywcy produktu.



## HIGH-EFFICIENCY MINI AND MICRO HEAT EXCHANGERS FOR DISPERSED POWER GENERATION

*Dariusz Mikielewicz*

*Faculty of Mechanical Engineering, Gdańsk University of Technology*

Recent years clearly observe the tendencies both in the world and in the countries of European Union towards the growth of the meaning of energy dispersed generation sector based on local resources and technologies using both conventional fuels and renewable energy. Attractive became the versatile processes of production of useful energy in energy dispersed generation sector. Processes belonging to them are such as: cogeneration, trigeneration and poligeneration, especially in reference to small and average scale plants. The most popular is a cogenerative process which is a simultaneous production of heat and electricity. The aim of EU is to achieve 18% in the market share in cogeneration realized in small and average scale production units of electric energy up to year 2020. The idea of dispersed cogeneration is particularly attractive in case of renewable resources of energy because in this case it is easy to apply new technologies. The EU directive requires 22% of “the green electricity” share in the scale of whole Union up to year 2020 or even 30% until 2030. For Poland this requirement is set on 15 % of total energy balance by year 2020, which has been unfortunately unattained, despite the efforts made towards that objective.

Amongst cogeneration technologies for the domestic applications, the organic Rankine cycle has become a field of intense research and appears as a promising technology for conversion of heat into useful work or electricity. The heat source can be of various origins: solar radiation, biomass combustion, ground heat source or waste heat from factories. Unlike the steam power cycle, where vapor steam is the working fluid, organic Rankine cycles (ORC) employ refrigerants or hydrocarbons [1].

Rankine cycle is widely used to convert thermal energy into work. However, the traditional Rankine cycle using water as the working fluid is adopted only for mid-and-high-temperature thermal resources, and it is not used for low-temperature thermal resources. To break through the temperature limitations, some new technologies are necessary. Due to simpler and cheaper expanders being developed, the ORC technology has been studied and applied to all kinds of low-temperature heat sources including geothermal energy, solar energy, ocean thermal energy, waste heat energy and biomass energy.

The power of expanding device of dispersed power generation CHP ranges from a few to tens of kilowatts. Considered here will be application of CHP in small households, where the turbine capacity will be of the order of 2–3 kW. The better utilization of energy in the fuel in CHP leads to lowering of harmful emissions released in the process of burning the fuel, because less fuel is utilized [2]. Worldwide demand for such micro CHP units is huge, comparable with the market of home refrigerators. It is easy to evaluate that, in case of our country, if the domestic micro CHP units were commonly implemented that would have a total potential to replace construction of several large conventional power stations. As far as the way of executing the CHP production there are also different concepts of their construction. Such units can be piston combustion engines, gas turbines, steam turbines, Stirling engines or fuel cells. Different are also time horizons of realizations of these conceptions. Basing on own experience and knowledge we proposed a concept of a new CHP based on vapor turbine working in ORC cycle [3, 4]. This CHP would be operating with a low-boiling fluid in the range of considerably lower temperatures comparing to the combustion engine and gas turbine. This kind of CHP requires less valuable materials and an easier technology of its production. With the help of such approach in the design of the postulated CHP the production of electricity will take place with the prices nearing those found in traditional large power plants. Heat from the micro CHP unit can be used to warm up water for home use as well as for space heating. Electricity can be used for own needs or can be supplied to the electric grid. Source of energy for CHP depends on local possibilities. It can be from renewable sources or from the conventional fuel.

There are several problems to solve for each specification of ORC dedicated to specific applications. First is to choose an appropriate working fluid, second to design proper devices working in a cycle such as: expanding device, pumps and finally the heat exchangers.

In a paper we concentrate on ORC in domestic CHP and specifically on micro heat exchangers working in domestic CHP. Intense activities can be found across the world, but in author's opinion, domestic experience and knowledge should place us as leaders in the countries involved in that topic. Using the postulated unit it is possible to generate electricity at prices close to the electricity prices from professional large power plants. The micro CHP utilized chemical energy in the fuel in almost 90%. That means that about 70–80% is heat for heating purposes and about 10–20% is the additional electrical power. Better utilization of chemical energy in micro CHP units leads to reduction of harmful emissions accompanying the process of fuel combustion. The small CHP unit can be fully automated and would not require servicing. In such way the energy users who are in possession of such CHP unit become the producers of electricity [5]. The basic components of the micro CHP are: boiler (evaporator), steam turbine, condenser, electricity generator and circulation pump. The new CHP concept requires solution of several new problems such as selection of working fluids, investigation of two-phase flow instabilities, search for original designs of micro heating exchangers and many others [6]. The dimensions of heat exchangers primarily influence volume occupied by the micro CHP unit in the boiler. Dimensions of micro CHP are regarded as one of the fundamental criteria of micro CHP effectiveness. In the micro CHP there will be only two basic heat exchangers, that is the evaporator, where the thermal oil heated in boiler will heat the working fluid to the saturation temperature and subsequently evaporates and the condenser, where condensing working fluids will heat water for central heating purposes.

This paper provides a summary of the construction and commissioning of the demonstration prototype of micro-CHP [7–10]. In the authors opinion the prototype bears the signs of innovation due to the compactness of the unit, its mobility and dedicated solutions of heat exchangers such as evaporator and condenser. Additionally, the authors attempted to modify the micro-CHP that it can operate as a low-temperature Rankine cycle. In this paper some preliminary results are also presented.

## References

- [1] Mikielewicz D., Wajs J., Mikielewicz J., *Gas boiler as a heat source for a domestic micro-CHP*, “J. Power Technol.” 2014, Vol. 94, No. 4, pp. 317–322.
- [2] Mikielewicz D., Mikielewicz J., *Comparative study of operation of condensing and traditional boilers equipped with the ORC module for electricity generation*. “E3S Web of Conferences” 2017, Vol. 13, 01001.
- [3] Mikielewicz D., Mikielewicz J., Wajs J., *Experiences from operation of different expansion devices for application in domestic micro CHP*, “Archives of Thermodynamics” 2010, Vol. 31, No. 4, pp. 3–13.
- [4] Wajs J., Mikielewicz D., Bajor M., Kneba Z., *Experimental investigation of domestic micro-CHP based on the gas boiler fitted with ORC module*, “Archives of Thermodynamics” 2016, Vol. 37, No. 3, pp. 79–93.
- [5] Mikielewicz D., Wajs J., *Possibilities of heat transfer augmentation in heat exchangers with minichannels for marine applications*, “Polish Maritime Research” 2017, Vol. 24, SI(93), pp. 133–140.
- [6] Mikielewicz D., Mikielewicz J., *A thermodynamic criterion for selection of working fluid for subcritical and supercritical domestic micro CHP*, “Appl. Therm. Eng.” 2010, Vol. 30, No. 16, pp. 2357–2362.
- [7] Wajs J., Mikielewicz D., *Influence of metallic porous microlayer on pressure drop and heat transfer of stainless steel plate heat exchanger*, “Applied Thermal Engineering” 2016, Vol. 93, pp. 1337–1346.
- [8] Wajs J., Mikielewicz D., Jakubowska B., *Performance of the domestic micro ORC equipped with the shell-and-tube condenser with minichannels*, “Energy” 2018, Vol. 157, pp. 853–861.
- [9] Wajs J., Bajor M., Mikielewicz D., *Thermal-Hydraulic Studies on the Shell-and-Tube Heat Exchanger with Minijets*, “Energies” 2019, Vol. 12, No. 17.
- [10] Dąbrowski P., Klugmann M., Mikielewicz D., *Channel Blockage and Flow Maldistribution during Unsteady Flow in a Model Microchannel Plate heat Exchanger*, “Journal of Applied Fluid Mechanics” 2019, Vol. 12, No. 4, pp. 1023–1035.

# WYKORZYSTANIE FERMENTACJI METANOWEJ DO ODZYSKU ENERGII Z ODPADÓW KOMUNALNYCH

## AN APPLICATION OF ANAEROBIC DIGESTION FOR UTILISATION OF WASTE ENERGY FROM MUNICIPAL WASTE

*Przemysław Seruga*

*Katedra Inżynierii Bioprosesowej, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu*

Jednym z najważniejszych problemów związanych z wytwarzaniem różnego rodzaju produktów jest zagospodarowanie powstających odpadów. Dotyczy to zarówno sfery ściśle przemysłowej, jak i związanej ze sferą gospodarstw domowych – komunalną.

Ilość powstających odpadów ciągle rośnie. Zgodnie z Krajowym Planem Gospodarki Odpadami 2022, w 2014 r. odebrano 10,3 mln ton odpadów komunalnych, a na 2030 r. zaprognozowano wytworzenie od 11,7 do 12,3 mln ton.

Jednym z najważniejszych problemów związanym z przetwarzaniem odpadów komunalnych jest biologiczna stabilizacja frakcji ulegającej biodegradacji, których masa przeznaczona do składowania musi ulec zmniejszeniu. Ponadto należy dążyć do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, np. ze składowisk odpadów, właśnie poprzez deponowanie wyłącznie nieaktywnych biologicznie frakcji resztkowych.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie możliwości odzysku energii z odpadów poprzez skierowanie ich do procesu fermentacji metanowej, z uwzględnieniem:

1. analizy sytuacji ogólnej związanej z gospodarowaniem odpadami komunalnymi w Polsce,
2. podstaw procesu fermentacji metanowej,
3. charakterystyki komponentów przemysłowej instalacji fermentacji,
4. analizy wybranych danych eksploatacyjnych z instalacji fermentacji.

Wśród stosowanych metod postępowania z frakcją biodegradowalną w Polsce wyróżnia się jednostopniowe przetwarzanie – stabilizację tlenową lub dwustopniowe – łączące występujące po sobie fermentację metanową i stabilizację tlenową. Korzystniejszy wydaje się dwustopniowy wariant przetwarzania, gdyż pozwala on na odzysk energetyczny. Powstający biogaz w procesie fermentacji może być wykorzystany do produkcji prądu czy ciepła.

Zawartość frakcji biodegradowalnej wydzielanej z niesegregowanych (zmieszanych) odpadów komunalnych wynosi w granicach 50% ogólnej masy. Jednakże w polskich realiach może ona być nawet w 30–40% zanieczyszczona materiałami inertnymi dla procesów biologicznych. Ponadto w okresie zimowym wzrasta zawartość popiołów. W efekcie zmienności strumienia i braku jego jednorodności pojawia się ryzyko zaburzenia procesu. Dlatego też uzasadnionym wydaje się być wzbogacanie wsadu do fermentacji substancjami organicznymi, zwłaszcza odpadami pochodzącymi z przemysłu spożywczego lub kierowanie do fermentacji selektywnie zebranych bioodpadów, których ilości rosną, w związku z wprowadzonym obowiązkowym systemem zbiórki selektywnej.

Na podstawie danych GUS w 2017 r. zebrano w Polsce łącznie 11,97 mln ton odpadów komunalnych, zarówno posegregowanych u źródła, jak i odpadów zmieszanych. Około 7,5 proc. z tej wartości stanowiły zebrane selektywnie bioodpady – 895 tys. ton.

Technologia fermentacji frakcji biodegradowalnej ze zmieszanych odpadów komunalnych w Polsce jest stosunkowo młoda. Większość istniejących w Polsce instalacji powstała w ciągu ostatnich 10 lat, wśród których można wymienić: wykonaną wg technologii OWS Dranco instalację w Trzebani z 2010 r., instalację w Białej Podlaskiej wg technologii Eisenmanna z 2014 r., instalacje wg technologii Laran<sup>®</sup> (Strabag) w Tychach z 2014 r., w Stalowej Woli z 2015 r. i w Promniku z 2016 r. oraz instalacje wg technologii Kompogas<sup>®</sup> w Gaci z 2014 r. i w Jarocinie z końca 2015 roku.

Spśród wymienionych powyżej instalacji, ta w Gaci zaczęła przetwarzać, jako pierwsza w Polsce, w osobnych komorach fermentacyjnych selektywnie zebrane bioodpady oraz frakcje biodegradowalną wydzie-

loną ze zmieszanych odpadów komunalnych, co może stanowić źródło danych do porównań obu procesów fermentacji.

Fermentacja metanowa to beztlenowy proces rozkładu, który prowadzi do wytworzenia biogazu ze związków organicznych. Biogaz składa się głównie z metanu ( $\text{CH}_4$ ) oraz ditlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ). Fermentacja metanowa jest naturalnym procesem, w którym uczestniczą drobnoustroje (bakterie), używające związków organicznych do wzrostu. W zależności od zawartości suchej masy w reaktorze wyróżnia się fermentację moką (5-20%) i suchą (20–50%). Na przebieg beztlenowego rozkładu wpływają także warunki prowadzenia procesu, do których można zaliczyć m.in.: pH, temperaturę, ładunek organiczny, zawartość suchej masy, czy czas zatrzymania w reaktorze.

Biorąc pod uwagę zakres temperatury, proces fermentacji można prowadzić w warunkach mezofilowych i termofilnych. Prowadzenie fermentacji w temperaturze około  $55^\circ\text{C}$ , wydaje się być bardziej efektywne pod względem uzysku biogazu. Pozwala także uzyskiwać lepszą higienizację odpadów oraz skracać czas przetrzymania odpadów w reaktorze. Z drugiej strony proces jest mniej stabilny, niż prowadzony w temperaturze rzędu  $35^\circ\text{C}$ .

Wśród zalet przemysłowego wykorzystania procesu fermentacji wymienia się:

- możliwość przetwarzania, oprócz suchych odpadów organicznych, również składników wilgotnych, takich jak odpady gastronomiczne oraz odpady z przetwórstwa żywności i rolnictwa,
- wytwarzanie mniejszej ilości ubocznych emisji do powietrza niż systemy tlenowe,
- potencjał energetyczny biogazu może być wykorzystywany do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła,
- fermentowany substrat może być poddawany recyklingowi w stanie ciekłym lub suchym,
- praca w obiegu zamkniętym umożliwia redukcję nieprzyjemnych odorów,
- zmniejszenie ilości odpadów, które w innym wypadku powinny być dostarczone na składowiska odpadów.

Z kolei wśród wad wylicza się, że:

- technologia jest stosunkowo skomplikowana, koszty budowy mogą być dość wysokie,
- proces jest stosunkowo kosztowny (50–100 Euro za tonę), w efekcie czego często występuje niekorzystny bilans kosztów,
- technologia ta jest stosunkowo nowa i dlatego do tej pory jest powszechna jedynie w wysoko rozwiniętych i uprzemysłowionych krajach,
- efektywne wykorzystanie i obsługa energii i innych produktów procesu, a także ich kontrola jakości – wymaga odpowiedniego poziomu wiedzy.

Niemniej ostatnimi laty obserwuje się wzrost liczby zakładów decydujących się na wprowadzenie procesu fermentacji i przetwarzanie w ten sposób odpadów. Niezależnie od technologii, przemysłowa instalacja do fermentacji odpadów składa się z następujących głównych modułów funkcjonalnych:

- doczyszczanie odpadów przed procesem fermentacji,
- układ zasilania komór fermentacyjnych,
- komory fermentacji metanowej,
- odwadnianie przefermentowanych odpadów,
- energetyczny odzysk biogazu,
- układ dystrybucji ciepła,
- układ oczyszczania powietrza procesowego.

Frakcja biodegradowalna wydzielona podczas mechanicznego przetwarzania odpadów, przed fermentacją musi być odpowiednio przygotowana. W tym celu najczęściej stosuje się sита pozwalające odsiać frakcję drobną, np. popioły oraz separatory balistyczne, w których następuje rozdział elementów ciężkich, tj. szkło, kamienie itp. od pozostałej frakcji organicznej nadającej się do fermentacji metanowej. Warto zauważyć, że praktykowane są także coraz bardziej zaawansowane techniki doczyszczania wsadu, jak np. separatory optopneumatyczne. Przygotowany wsad trafia zwykle do bufora pozwalającego zapewnić ciągłość procesu.

Zasilanie komór jest realizowane przez odpowiednio dobrany układ rozpoczynający się nadawą (zasobnikiem). Z niego odpady transportowane są (za pomocą pomp, przenośników taśmowych, bądź ślimakowych) do urządzeń zasilających komory. Zasilanie odbywać się może poprzez wtlaczanie odpadu (za pomocą pomp), czy śrub podających (zanurzonych częściowo w komorze, bądź nie mających styku z odpadami).



W zależności od przepustowości instalacji oraz technologii, stosowane są różne rodzaje komór fermentacyjnych. Wyróżnić można komory pionowe, bądź poziome; z jednym mieszadłem, bądź z wieloma mieszadłami; czy z zaokrąglonym, bądź płaskim dnem.

Po przejściu odpadów przez komorę fermentacyjną odbywa się ich ekstrakcja, która zwykle działa poprzez wytworzenie podciśnienia i zassania odpadów, np. za pomocą pomp tłokowych. Ekstrahowany przefermentowany odpad zostaje następnie poddany odwodnieniu. Zwykle w pierwszym etapie na prasach, a następnie na wirówce, bądź hydrocyklonie. W efekcie odwadniania powstaje zatem pofermentat i odciek.

Z uwagi na uwarunkowania techniczne w Polsce pozyskiwany z procesu biogaz jest uzdatniany i wykorzystywany na miejscu w agregatach kogeneracyjnych, choć np. w Niemczech praktykuje się głównie uzdatnienie biogazu i wprowadzenie do sieci jako biometanu. Energetyczne wykorzystywanie biogazu do produkcji energii elektrycznej z odzyskiem ciepła nosi nazwę kogeneracji, zaś w przypadku wytwarzania dodatkowo chłodu technologicznego używa się nazwy trigeneracji.

Moduł oczyszczania powietrza procesowego obejmuje zwykle instalację wyciągową powietrza, płuczkę kwaśną oraz biofiltr, wraz z urządzeniami niezbędnymi do jego prawidłowego funkcjonowania.

Jak wspomniano powyżej, pierwszą w Polsce, instalacją fermentacji przetwarzającą frakcje biodegradowalną oraz selektywnie zebrane bioodpady jest instalacja w ZGO Gać, stąd pozwala ona na porównanie fermentacji w zależności od wsadu.

ZGO Gać w 2019 r. przyjęło do zagospodarowania około 65 tys. ton niesegregowanych (zmieszanych) odpadów komunalnych oraz 14 tys. ton bioodpadów. Biologiczne przetwarzania odpadów w zakładzie jest realizowane z użyciem dwóch niezależnych komór fermentacyjnych o pojemności 1500 m<sup>3</sup>. Z przeprowadzonych analiz i badań morfologicznych obu wsadów, wynika, że bioodpady charakteryzowały się większą zawartością materii organicznej (około 68%) w porównaniu do frakcji ze zmieszanych odpadów (około 48%), mniejszą zawartością frakcji drobnej – poniżej 15 mm (odpowiednio 17,1% i 28,7%) – oraz mniejszą zawartością zanieczyszczeń w postaci szkła, tworzyw i inertów (odpowiednio 4,3% i 12,1%). W obu przypadkach fermentacja jest prowadzona w temperaturze około 54°C i przebiega stabilnie.

W przypadku fermentacji bioodpadów zanotowano uzysk biogazu na poziomie około 111 m<sup>3</sup> z tony wsadu, przy uzysku na poziomie około 105 m<sup>3</sup> z drugiej komory. Jednakże dla bioodpadów obserwuje się wyższą zawartość metanu w biogazie (odpowiednio 59% wobec 52%) i niższe stężenia siarkowodoru. Powyższe wskazuje na większy potencjał bioodpadów w wytwarzaniu energii elektrycznej (w ZGO Gać nawet o 4000 MWh rocznie) oraz niższe koszty eksploatacyjne, związane z jakością biogazu. Dodatkowo pofermentat z bioodpadów może być wykorzystywany na cele rolnicze, jako tzw. środek wspomagający uprawę roślin.

W ujęciu całłościowym, w latach 2016–2018 zakład wytworzył ponad 15,2 tys. MWh energii elektrycznej, co biorąc pod uwagę zużycie własne wynoszące około 10,7 tys. MWh, pozwoliło nie tylko na pokrycie potrzeb własnych, ale także na sprzedaż nadwyżki energii elektrycznej i osiągnięcie z tego tytułu przychodów na poziomie ponad 860 tys. zł (nie wliczają świadectw pochodzenia z OZE).

Biorąc powyższe pod uwagę można stwierdzić, że odpady komunalne wciąż stanowią rezerwar energii możliwej do odzyskania. Odzysk ten powinien być realizowany przed skierowaniem odpadów na składowisko. W związku z wprowadzeniem ogólnokrajowych standardów zbiórki selektywnej spodziewany jest dalszy wzrost ilości odbieranych bioodpadów. Fermentacja selektywnie zbieranych bioodpadów wydaje się przynosić większe korzyści i być mniej kosztochłonna w porównaniu do praktykowanej w Polsce fermentacji frakcji biodegradowalnej ze zmieszanych odpadów komunalnych. Oprócz większych uzysków biogazu i w efekcie produkcji prądu, pozwala także uzyskać produkt (pofermentat) mogący znaleźć zastosowanie w rolnictwie, stanowiąc oprócz odzysku energii również recykling organiczny.

---

# MOŻLIWOŚCI MODELOWANIA ZJAWISK CIEPLNO-PRZEPLYWOWYCH Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA ANSYS

## MODELING OF THERMAL FLUID PHENOMENA IN ANSYS

*Piotr Buliński*  
*Symkom – Ansys Chanel Partner*

Wdrożenie innowacyjnej technologii, spełnienie norm emisji czy zwiększenie sprawności urządzenia wymaga przeprowadzenia wielu testów oraz badań weryfikacyjnych. Czas na badania analityczne bywa znacznie ograniczony, co jest kolejnym wyzwaniem, któremu musi sprostać dzisiejszy inżynier. W wielu przypadkach badania eksperymentalne są wykorzystywane równocześnie z badaniami symulacyjnymi. W związku z tym w tej pracy przedstawiono sposoby rozwiązywania problemów w przemyśle energetycznym i nie tylko przy wykorzystaniu uzupełniających się metod eksperymentalnych i numerycznych.

Jednym z pierwszych przedstawionych przykładów obliczeniowych będzie transformator. Podstawowym wskaźnikiem poprawnego działania transformatora są straty mocy w uzwojeniach oraz elementach konstrukcyjnych. W tym celu szeroko stosowana jest analiza numeryczna. Kolejnymi wyzwaniami z którymi mierzy się inżynier projektujący transformatory jest wyznaczenie siły elektromotorycznej, weryfikacja funkcjonowania transformatora w stanach nieustalonych czy minimalizacja hałasu.

Kolejnym ciekawym przykładem symulacji numerycznej będzie silnik lotniczy. Przedstawiona zostanie praca weryfikacyjno-walidacyjna wykonana dla silnika firmy Rolls-Royce, wykorzystując oprogramowanie własne firmy Rolls-Royce. W opracowaniu wyników szczególną rolę odegrały pola prędkości, sadzy czy temperatury. Wyniki wykazywały się jakościową i ilościową zgodnością.

Wystąpienie zostanie zakończone przedstawieniem modelu matematycznego próżniowego pieca indukcyjnego. Była to część innowacyjnego projektu dotyczącego zimnego tygla w próżniowym piecu indukcyjnym. Autor zwróci szczególną uwagę na aspekty związane z multidyscyplinarnością oraz komunikacją, które w dzisiejszych projektach są niezbędne.

**I SESJA REFERATOWA**

**INNOWACJE W ENERGETYCE**

**INNOVATIONS IN THE POWER INDUSTRY**



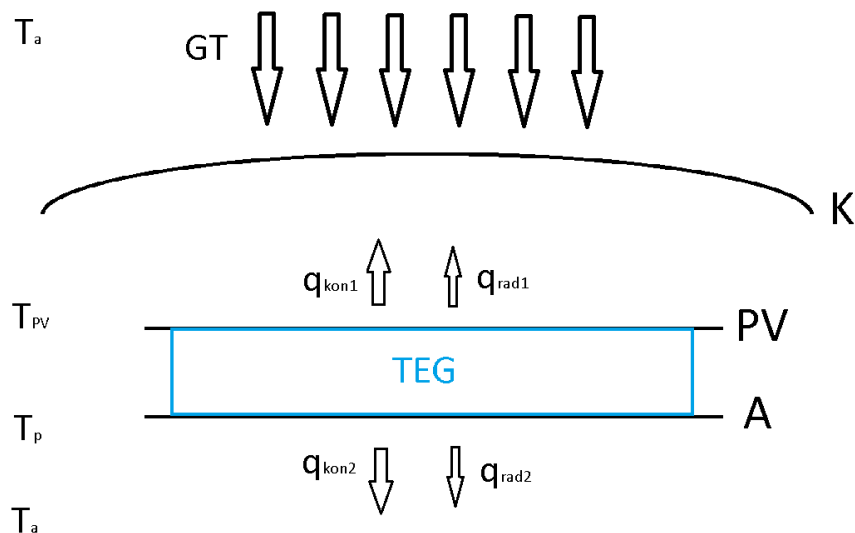


# WPŁYW EMISYJNOŚCI POWIERZCHNI NA ODZYSK EGZERGII Z FOTOWOLTAIKI Z KONCENTRATORAMI W WARUNKACH NISKIEGO CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO Z WYKORZYSTANIEM ZJAWISK TERMOELEKTRYCZNYCH

## SURFACE EMISSIVITY IMPACT ON EXERGY RECOVERY FROM PHOTOVOLTAICS UNDER LOW ATMOSPHERIC PRESSURE AND CONCENTRATED SUN CONDITIONS WITH USAGE OF THERMOELECTRIC EFFECTS

*Korneliusz Sierpowski, Ziemowit Malecha*  
 Politechnika Wroclawska, Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej

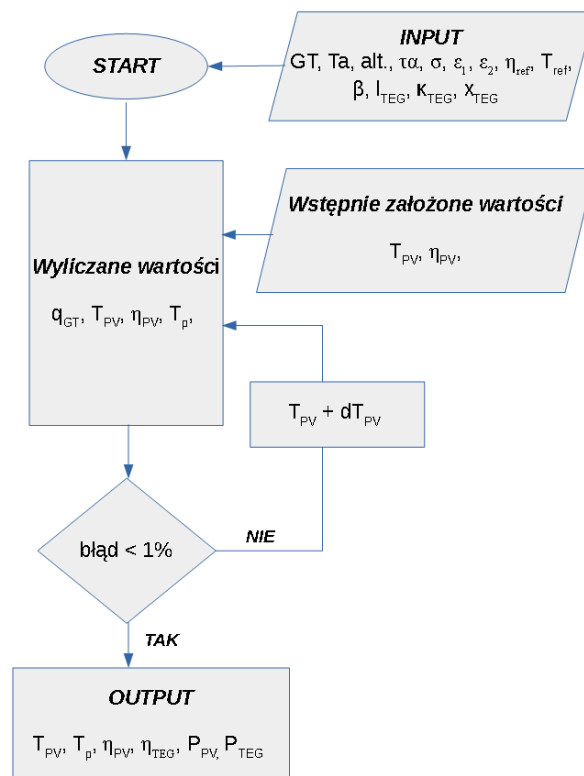
W pracy zaproponowano sposób odzysku egzergii [1] z modułu fotowoltaicznego umieszczonego w atmosferze o niskim ciśnieniu z wykorzystaniem zjawisk termoelektrycznych (schemat ideowy rozwiązania przedstawiono na rys. 1). Przeprowadzono analizę numeryczną zaproponowanego rozwiązania (schemat blokowy przedstawiono na rys. 2) z wykorzystaniem języka programowania Python oraz środowiska Thonny. Urządzeniem wykorzystującym gradient temperatur w celu generacji energii elektrycznej jest generator termoelektryczny, zwany dalej TEG [2].



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie badanego rozwiązania, przy czym: PV – moduł fotowoltaiczny, TEG – moduł termoelektryczny, A – dolna płyta, K – koncentrator światła (soczewka Fresnela),  $T_{PV}$  – temperatura modułu fotowoltaicznego,  $T_P$  – temperatura dolnej płyty,  $T_a$  – temperatura otoczenia, GT – strumień energii pochodzący od światła słonecznego,  $q_{kon}$  – strumień ciepła oddany do otoczenia przez konwekcję,  $q_{rad}$  – strumień ciepła oddany do otoczenia przez radiację

Pokazano wyniki współpracy modułu fotowoltaicznego z modułem termoelektrycznym. Przedstawiono różnicę pomiędzy modułem fotowoltaicznym pracującym jako samodzielne źródło energii elektrycznej a modułem fotowoltaicznym sprzężonym z modułem termoelektrycznym. W pewnych przypadkach,

pokazanych w pracy rozwiązanie takie jest korzystne pod względem uzysku energetycznego z jednostki powierzchni. W pracy skupiono się na aspektach wymiany ciepła z otoczeniem. Ze względu na niskie ciśnienie atmosferyczne, konwekcja wymuszona wynikająca z ruchu danego ciała w stratosferze jest mało efektywna. Konwekcja wymuszona przestaje być dominującym mechanizmem wymiany ciepła z otoczeniem i należy uwzględnić radiację. Model uwzględnia różne wartości emisyjności powierzchni modułu fotowoltaicznego oraz dolnej płyty. Uwzględniono również współpracę hybrydy PV–TEG z koncentratorem zwiększającym natężenie światła padającego na urządzenie. Pokazano wpływ konfiguracji hybrydy na sprawność energetyczną przetwarzania energii słonecznej z wykorzystaniem równania Peteli [3]. W pracy przeprowadzono też dyskusję nad potencjalną aplikacyjnością rozwiązania przy obecnym stanie prac nad materiałami termoelektrycznymi.



Rys. 2. Schemat blokowy przedstawiający algorytm obliczeniowy, który posłużył do wyznaczenia temperatur i mocy poszczególnych elementów

## Literatura

- [1] Rant Z., *Exergie, ein neues Wort für Technische Arbeitsfähigkeit*, “Forschung Auf dem Gebiete des Ingenieurwesens” 1956, Vol. 22, pp. 36-37.
- [2] Duffie J.A., Beckman W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2013, 4th ed., Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, ISBN 978-0-470-87366-3.
- [3] Shittua S., Lia G., Zhao X., Zhou J., Ma X., Akhlaghi Y.G., *Experimental study and exergy analysis of photovoltaic-thermoelectric with flat plate micro-channel heat pipe*, “Energy Conversion and Management” 2020, Vol. 207, 112515.

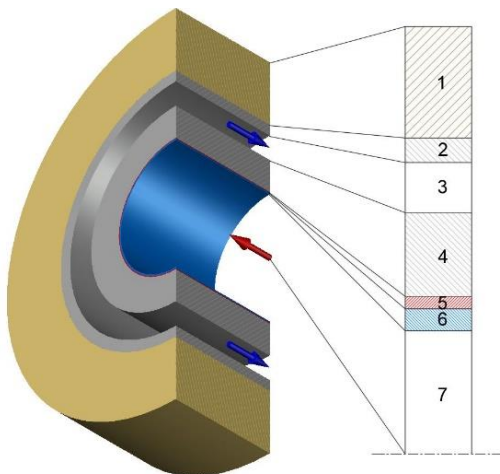
# MODELOWANIE NUMERYCZNE UKŁADU RURA W RURZE WYKORZYSTWANEGO DO CHŁODZENIA RUROCIĄGU PARY O PARAMATERACH ULTRA-NADKRYCZNYCH

## NUMERICAL MODELING OF THE DUAL PIPE SYSTEM USED FOR COOLING OF THE PIPING WITH THE ULTRA-SUPERCRITICAL STEAM PARAMETERS

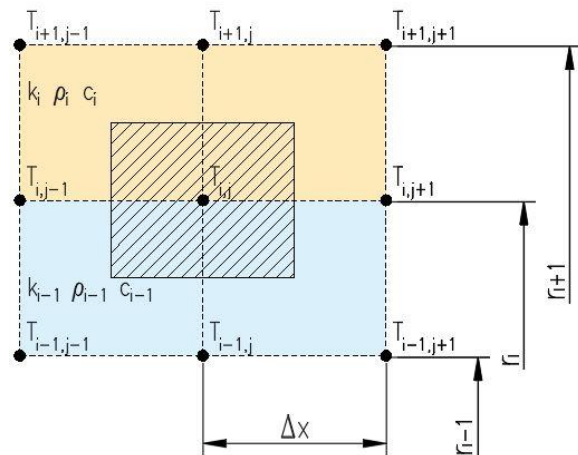
Mariusz Granda

Politechnika Krakowska, Katedra Procesów Ciepłych, Ochrony Powietrza i Utylizacji Odpadów

Odpowiedzią przemysłu energetycznego na ograniczenia emisji zanieczyszczeń jest zastosowanie specjalnych rozwiązań technologicznych przy produkcji energii elektrycznej. Coraz to częściej projektuje się wysokosprawne jednostki o parametrach ultra-nadkrytycznych, w których parametry pary przekraczają 30 MPa i 650°C [1]. Wysokie wymagania wobec materiałów oraz ich ceny zmuszają do szukania nowych, tańszych rozwiązań, dzięki którym można osiągnąć nie tylko większą sprawność obiegu, ale przede wszystkim większą trwałość przy jednoczesnym wzroście dynamiki kotła. Jednym z takich rozwiązań jest wykorzystanie powłokowych barier ciepłych (TBCs – ang. *Thermal Barrier Coatings*) do chłodzenia rurociągu doprowadzającego parę do turbiny. W elementach grubościennych występuje wysoki gradient temperatury na ściance co znacząco ogranicza jego wytrzymałość, dlatego koniecznym jest stosowanie nadstopów niklu. Zastosowanie TBCs na powierzchni wewnętrznej rury chłodzonej w układzie rura–rura obniża gradient temperatury, mając jednocześnie wpływ na dobór lub wytrzymałość metariałów. Niniejszy referat przedstawia matematyczny model o parametrach rozproszonych układu chłodzenia rurociągu pary świeżej (rys. 1), dzięki któremu można określić warunki pracy w stanie ustalonym oraz nieustalonym.



Rys. 1. Schemat przedstawiający zastosowanie powłokowej bariery ciepłej w układzie chłodzenia rurociągu pary świeżej: 1 – izolacja, 2 – rura zewnętrzna T2, 3 – para o parametrach podkrytycznych, 4 – rura wewnętrzna T1, 5 – podkład BC, 6 – powłoka ceramiczna – TC, 7 – para o parametrach nadkrytycznych



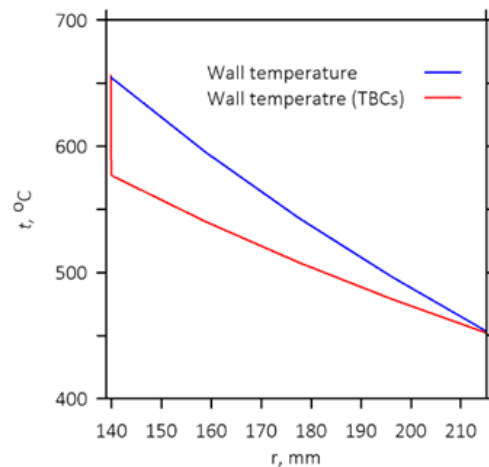
Rys. 2. Lokalizacja węzła na powierzchni kontaktu dwóch elementów cylindrycznych o różnych właściwościach termofizycznych

$$\begin{aligned}
 \Delta x \pi \left( r_i^2 - \left( \frac{r_i + r_{i-1}}{2} \right)^2 \right) \rho_{i-1}(T_{i,j}) c_{i-1}(T_{i,j}) \frac{dT_{i,j}}{dt} + \Delta x \pi \left( \left( \frac{r_i + r_{i+1}}{2} \right)^2 - r_i^2 \right) \rho_i(T_{i,j}) c_i(T_{i,j}) \frac{dT_{i,j}}{dt} = \\
 = \pi \Delta x \left( \frac{r_{i-1} + r_i}{r_i - r_{i-1}} \right) k_{i-1} |_{T_{i,j}}^{T_{i-1,j}} (T_{i-1,j} - T_{i,j}) + \pi \Delta x \left( \frac{r_i + r_{i+1}}{r_{i+1} - r_i} \right) k_i |_{T_{i,j}}^{T_{i+1,j}} (T_{i+1,j} - T_{i,j}) + \\
 + \frac{\pi}{\Delta x} \left( r_i^2 - \left( \frac{r_{i-1} + r_i}{2} \right)^2 \right) k_{i-1} |_{T_{i,j}}^{T_{i,j-1}} (T_{i,j-1} - T_{i,j}) + \\
 + \frac{\pi}{\Delta x} \left( r_i^2 - \left( \frac{r_{i-1} + r_i}{2} \right)^2 \right) k_{i-1} |_{T_{i,j}}^{T_{i,j+1}} (T_{i,j+1} - T_{i,j}) + \\
 + \frac{\pi}{\Delta x} \left( \left( \frac{r_i + r_{i+1}}{2} \right)^2 - r_i^2 \right) k_i |_{T_{i,j}}^{T_{i,j-1}} (T_{i,j-1} - T_{i,j}) + \\
 + \frac{\pi}{\Delta x} \left( \left( \frac{r_i + r_{i+1}}{2} \right)^2 - r_i^2 \right) k_i |_{T_{i,j}}^{T_{i,j+1}} (T_{i,j+1} - T_{i,j})
 \end{aligned} \tag{1}$$

Model matematyczny wykorzystuje metodę Galerkiną [2], dzięki której możliwe jest wyznaczenie zmiennej w czasie temperatury zgodnie z równaniem (1) dla dowolnego węzła siatki elementów skończonych (rys. 2) przy zdefiniowanych parametrach pary (IAPWS-IF97) oraz zmiennych temperaturowo właściwości materiałów (tab. 1).

Tabela 1. Wymiary i parametry pracy układu chłodzenia rurociągu pary świeżej

	Materiał	$t$ , °C	$p$ , MPa	$\phi$ , mm
Para		658	31,5	
TC	8YSZ			279 × 2,5
BC	NiCoCrAlY			280 × 0,5
T1	P91			340 × 75
Para		450	7,5	
T2	P91			508,4 × 20,8



Rys. 3. Rozkład temperatury w rurze wewnętrznej

Zastosowanie powłoki TBCs wpływa na znaczący spadek gradientu temperatury na ścianie rury chłodzonej (rys. 3), co ma wpływ na jego wytrzymałość. Dalsze prace skupiać się będą na wykonaniu pełnej analizy nieustalonego stanu pracy, co może mieć wpływ na dynamikę pracy wysokociśnieniowych elementów grubościennych kotła parowego.

## Literatura

- [1] Stultz S.C., Kitto J.B., *Steam its generation and use*, 41<sup>st</sup> edition, The Babcock & Wilcox Company 2005.  
 [2] Taler J., Duda P., *Solving Direct and Inverse Heat Conduction Problems*, Springer 2006.

# PORÓWNANIE PRODUKCJI GAZU W PROCESIE PIROLIZY I ZGAZOWANIA BIOMASY Z OGRANICZENIEM EMISJI DWUTLENKU WĘGLA

## COMPARISON OF GAS PRODUCTION UNDER BIOMASS PYROLYSIS AND GASIFICATION CONDITIONS WITH IN-SITU CO<sub>2</sub> CAPTURE

*Maciej Śliz, Aneta Magdziarz, Małgorzata Wilk  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

W wyniku postępujących zmian klimatycznych bardzo duże zainteresowanie kierowane jest w kierunku technologii umożliwiających zastąpienie tradycyjnych paliw kopalnych alternatywnymi pochodzyci z odnawialnych źródeł. Ponadto, wymogi stawiane przez Unię Europejską zwracają uwagę naukowców na inne sposoby redukcji emisji dwutlenku węgla. Jednym ze źródeł energii, które może pozwolić na sprostanie wymaganiom stawianym paliwom jest szeroko pojęta biomasa. Energia chemiczna w niej zawarta pochodzi z konwersji energii słonecznej w procesie fotosyntezy przez co uznawana jest za energię odnawialną. W celu zapewnienia niskoemisyjnego procesu przetwarzania biomasy stosowane są różne technologie m.in.: piroliza, zgazowanie, hydrotermiczne uwęglanie, współspalanie i spalanie [1].

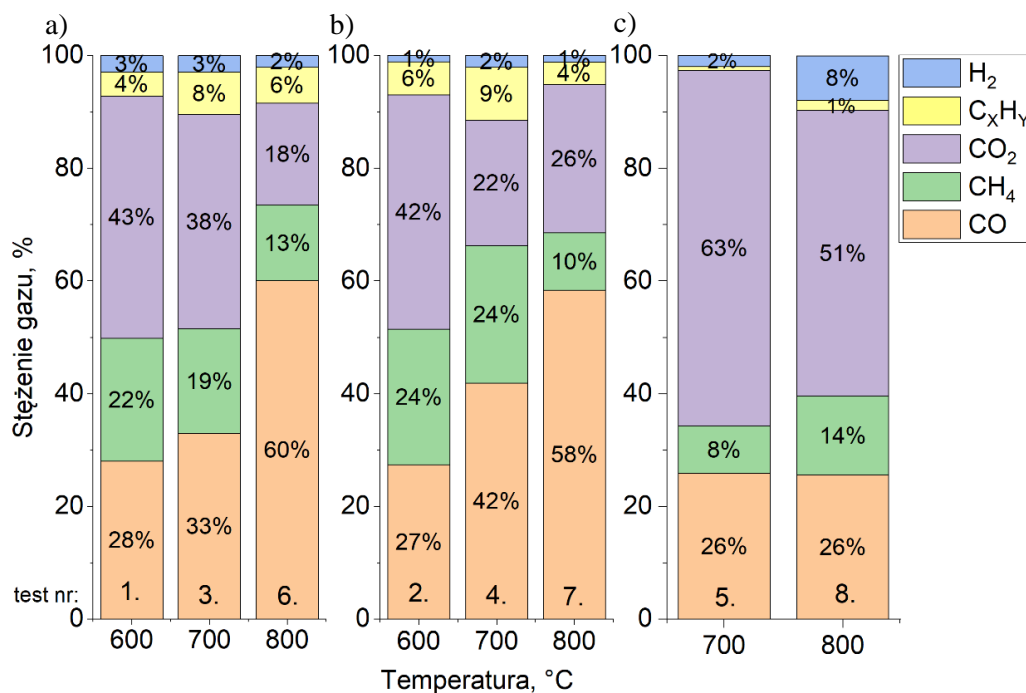
Celem niniejszej pracy była analiza procesu pirolizy i zgazowania biomasy w postaci trocin sosnowych. Proces pirolizy prowadzono w piecu ze stałym złożem, którego głównym elementem była pionowa szklana rura o długości 50 cm i średnicy 3 cm. Złoże opierało się na przepuszczalnej przegrodzie w środku rury i zabezpieczone przed przemieszczaniem wełną kwarcową. Eksperyment prowadzono w temperaturze 600, 700 i 800°C jednocześnie badając wpływ dodatku tlenku wapnia (CaO) na skład produkowanego gazu. Proces zgazowania prowadzono w atmosferze dwutlenku węgla (stosunek N<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub> wynosił 1:1) w trzech temperaturach (600, 700 i 800°C). Gaz wprowadzany był od góry, natomiast u dołu kondensowano frakcje smoliste i pozbywano się pary wodnej ze zbieranego gazu. Zestawienie parametrów wykonanych eksperymentów przedstawiono w Tab. 1. Zastosowanie CO<sub>2</sub> jako medium zgazowywującego miało na celu przesunięcie równowagi reakcji w stronę innych produktów takich jak tlenek węgla i wodór. Natomiast dodatek CaO miał na celu absorpcję produkowanego dwutlenku węgla, ale również tego dostarczanego wraz z azotem w celu dostarczenia dodatkowej energii powstałej z egzotermicznej reakcji syntezy węglanu wapnia. Należy podkreślić, że obecność wapnia wpływa katalitycznie na prowadzony proces i pozwala uzyskać wyższe stężenia wodoru w porównaniu do procesów prowadzonych bez CaO [2].

Tabela 1. Parametry przeprowadzonych procesów

Nr eksperymentu	1	2	3	4	5	6	7	8
Temperatura, °C	600	600	700	700	700	800	800	800
Dodatek CaO	tak	tak	tak	tak	nie	tak	tak	nie
Stosunek N <sub>2</sub> : CO <sub>2</sub>	1:0	1:1	1:0	1:1	1:1	1:0	1:1	1:0

W trakcie eksperymentu produkowany gaz zbierano w dwóch etapach do worków Tedlara, a następnie poddano analizie chromatografem gazowym. W każdym etapie gaz zbierano przez 20 minut. Pierwszy etap to okres wygrzewania do temperatury końcowej oraz drugi etap od momentu, w którym osiągnięto temperaturę końcową. Analiza gazu wykazała obecność następujących składników: wodoru (H<sub>2</sub>), tlenku węgla (CO), metanu (CH<sub>4</sub>), dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) i azotu (N<sub>2</sub>). Ponadto zidentyfikowano również eten (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propen (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>) i propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>). Jednak gazy te występowały w śladowych ilościach dlatego zbiorczo przedstawiono je jako C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>. Wykonano również analizę termogravimetryczną absorbera po procesie pirolizy oraz stałej pozostałości po procesie zgazowania, w którym biomasa została wymieszana z tlenkiem wapnia

w celu intensyfikacji wymiany ciepła pomiędzy składnikami. Analiza prowadzona była w atmosferze azotu, dzięki czemu zarejestrowany ubytek masy można było przypisać procesowi desorpcji dwutlenku węgla.



Rys. 1. Skład gazu w temperaturze końcowej podczas a) pirolizy, b) zgazowania, c) bez dodatku CaO

Porównanie ilości gazów zebranych w trakcie eksperymentu wykazało, że w pierwszym etapie zbierano mniej gazu gdy w atmosferze znajdowało się CO<sub>2</sub>. Odwrotna sytuacja miała w trakcie drugiego etapu gdy podczas zgazowania wyprodukowano więcej gazu. Podczas pirolizy otrzymano gazy o wyższym stężeniu tlenu węgla i niższym stężeniu wodoru. Stężenie dwutlenku węgla w końcowym etapie było niższe w trakcie zgazowania (temp. 600 i 700 °C) pomimo tego, że gaz ten był dodatkowo dostarczany z atmosferą zgazowującą. Analiza TG pokazała, że temperatura 800 °C jest za wysoka by w stałych produktach można było wykryć zaabsorbowany dwutlenek węgla.

Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że dodatek dwutlenku węgla do atmosfery, w której prowadzi się proces termicznej konwersji biomasy w obecności tlenu wapnia pozwala osiągnąć większe ilości gazu o bardziej preferowanym składzie.

### Podziękowanie

Autorzy dziękują dr. Ningbo Gao oraz dr. Cui Quan za umożliwienie odbycia stażu Maciejowi Ślizowi oraz przeprowadzenia badań w laboratorium należącym do School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Chiny.

### Finansowanie

Praca była finansowana w ramach programu Unii Europejskiej H2020-MSCA-RISE-2018 Marie Skłodowska-Curie Actions na podstawie umowy nr 823745 (Grant Agreement).

### Literatura

- [1] Sieradzka M. i in., *Biomass thermochemical conversion via pyrolysis with integrated CO<sub>2</sub> capture*, "Energies" 2020, Vol. 13, 1050, doi: 10.3390/en13051050.
- [2] Zhang S. i in., *Autothermal CaO looping biomass gasification to increase process energy efficiency and reduce ash sintering*, "Fuel" 2020, Vol. 277, 118199, doi: 10.1016/j.fuel.2020.118199.

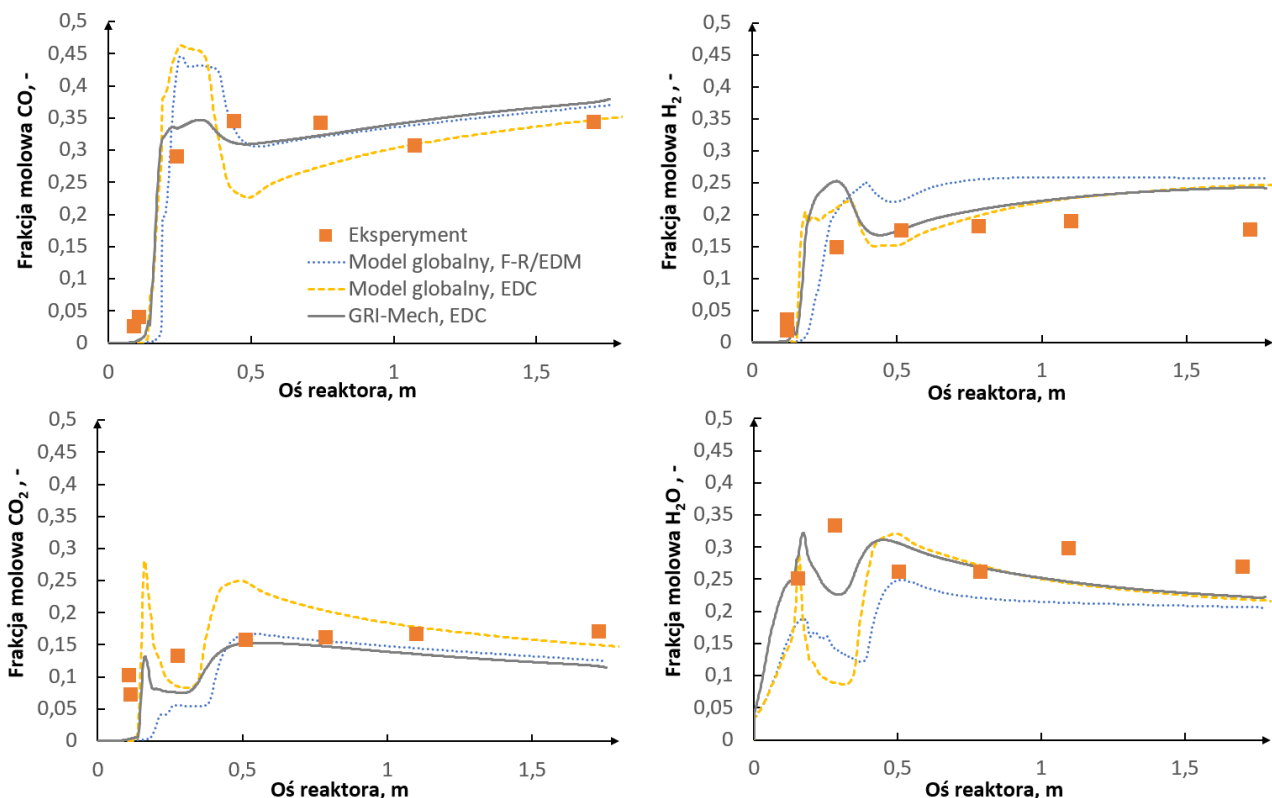


# WPŁYW MODELOWANIA FAZY GAZOWEJ NA SYMULACJE CFD ZGAZOWANIA WĘGLA

## IMPACT OF GAS PHASE MODELING ON THE CFD SIMULATIONS OF COAL GASIFICATION

*Jakub Mularski, Norbert Modliński*  
 Politechnika Wroclawska, Katedra Mechaniki, Maszyn, Urządzeń i Procesów Energetycznych

Prezentacja dotyczy modelowania wpływu fazy gazowej na symulacje CFD zgazowania węgla w reaktorach strumieniowych. Brane są pod uwagę wybrane mechanizmy globalne spalania powszechnie stosowane w literaturze oraz wybrane modele, które uwzględniają interakcje pomiędzy kinetyką a turbulencją. Na podstawie przeglądu literaturowego [1] stwierdzono, że brakuje informacji dotyczących wpływu modelowania tych mechanizmów na przebieg zgazowania strumieniowego. Powszechnie dostępne były analizy w spalaniu pyłowym bądź w spalaniu objętościowym.



Rys. 1. Rozkład frakcji molowych CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O wzdłuż osi reaktora w reaktorze BYU dla trzech modeli

W ramach modeli uwzględniających interakcje pomiędzy kinetyką a turbulencją analizowane są dwa modele. Pierwszy z nich – model the laminar finite-rate/eddy dissipation (F-R/EDM) oraz drugi model – the eddy dissipation concept (EDC). Pierwszy model rozpatruje tak naprawdę dwa niezależne modele the laminar finite-rate (F-R) oraz eddy dissipation (EDM). W pierwszym z nich szybkość reakcji wyznaczana jest na podstawie prawa Arrheniusa, podczas gdy wpływ turbulencji jest pomijany. W modelu drugim zakłada się, że reakcja kontrolowana jest przez szybkość mieszania, zaś pomija się szybkość reakcji chemicznych. Zastosowanie kombinacji tych dwóch modeli pozwala ustalić, która szybkość faktycznie ogranicza proces, czy to jest szybkość reakcji, czy też szybkość mieszania. Nie występuje jednak żadna interakcja między kinetyką a turbulencją. Na



podstawie przeglądu literaturowego [1] stwierdzono, że model (F-R/EDM) jest najpowszechniej stosowanym modelem. Model eddy dissipation concept jest rozszerzeniem wyżej wspomnianego modelu eddy dissipation gdzie występuje wzajemne interakcja między turbulencją a kinetyką reakcji. Głównym założeniem jest to, że reakcje odbywają się w małych turbulentnych strukturach. Każda z tych struktur traktowana jest jak niezależny reaktor idealnego wymieszania.

Analiza problemu składa się z dwóch części. Pierwsza część dotyczy analizy czterech najpowszechniej stosowanych w literaturze modeli globalnych spalania oraz zaawansowanego modelu spalania metanu GRI-Mech, który w głównej mierze składa się z reakcji rodnikowych, w reaktorze typu plug flow. W wyniku tej analizy, model globalny najbardziej zbliżony do GRI-Mech oraz sam GRI-Mech, są wykorzystane w dalszej części w symulacji CFD wykorzystując dodatkowo wyżej wspomniane modele interakcji kinetyka-turbulencja. W ramach symulacji zgazowania, zastosowano przy modelowaniu odgazowania procedurę optymalizacyjną [2], która wykorzystuje parametry pracy reaktora oraz skład paliwa, poprawiając tym samym, dokładność obliczeń. Głównym elementem badań jest porównanie uzyskanych wyników modelowych z wynikami eksperymentalnymi literaturowymi. Ma to na celu poznanie dokładnego wpływu modelowania fazy gazowej na cały proces zgazowania węgla. Do analizy wykorzystane są trzy reaktory strumieniowe. Reaktor z Brigham Young University (ok. 1t/doba), reaktor dwustopniowy Mitsubishi Heavy Industries (200 ton/doba) oraz reaktor dwustopniowy Conoco-Philips E-gas (2400 ton/doba). Na podstawie badań stwierdzono, że kompleksowy model GRI-Mech wraz z zaawansowanym modelem eddy dissipation concept uzyskały największą zgodność z wynikami eksperymentalnymi literaturowymi. Na rysunku 1 pokazano przykładowe wyniki analizy dla reaktora z Brigham Young University (BYU).

## Literatura

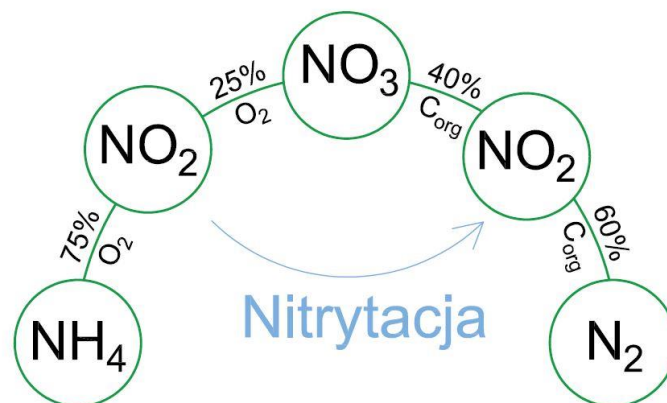
- [1] Mularski J., Pawlak-Kruczek H., Modliński N., *A review of recent studies of the CFD modelling of coal gasification in entrained flow gasifiers, covering devolatilization, gas-phase reactions, surface reactions, models and kinetics*, “Fuel” 2020, Vol. 271, pp. 1-36.
- [2] Mularski J., Modliński N., *Entrained flow coal gasification process simulation with the emphasis on empirical devolatilization models optimization procedure*, “Applied Thermal Engineering” 2020, Vol. 175, pp. 1-14.

# ANALIZA EKONOMICZNA WDROŻENIA NITRYTACJI NA GŁÓWNYM CIĄGU OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

## ECONOMIC ANALYSIS OF NITRIATION IMPLEMENTATION ON MAIN-STREAM OF WASTEWATER TREATMENT PLANT

*Krzysztof Ratkiewicz, Dominika Kolbuc*  
 Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska

W technologii oczyszczania ścieków, wykorzystuje się głównie dwa procesy biologiczne: nityfikację i denityfikację. Nityfikacja, jest tlenowym procesem autotroficznym, przebiegającym w dwóch etapach, który polega na utlenianiu azotu amonowego do azotanów(III), a następnie azotanów(V), co nazywane jest pełną nityfikacją. Denityfikacja, jest procesem heterotroficznym i anoksydacyjnym, wykorzystującym produkty nityfikacji, jako źródło tlenu, do rozkładu związków organicznych zawartych w ściekach [1]. Produktem końcowym procesu denityfikacji jest azot gazowy, który uwalniany jest do atmosfery. Ze względu na ogromną energochłonność procesu nityfikacji, który stanowi od 45 do 75%, całkowitego zapotrzebowania na energię, podczas oczyszczania ścieków, bilans energetyczny tylko w nielicznych obiektach jest zerowy [2]. W przypadku pełnej nityfikacji, jak wynika ze stechiometrii procesu, utlenienie 1 kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> wymaga aż 4,57 kg O<sub>2</sub>, co w przypadku Wroclawskiej Oczyszczalni Ścieków przekłada się na niemalże 32 tys. kg czystego O<sub>2</sub>, a 152 tys. kg powietrza każdej doby. Proponowanym rozwiązaniem tego problemu, jest wymuszenie skróconej nityfikacji (nitytacji), a tym samym zmniejszenie wymaganego tlenu do utleniania kilograma azotu amonowego z 4,57 do 3,43 kg O<sub>2</sub>, co w ujęciu jednostkowym przekłada się na zmniejszenie zapotrzebowania na tlen o 25% (rys. 1).



Rys. 1. Schemat procesów biologicznych

Dodatkowym źródłem ograniczenia zużycia energii, będzie możliwość zmniejszenia ładunku węgla organicznego, dopływającego do bloku biologicznego o 40% [3]. W wyniku chemicznego strącania w osadniku wstępnym, ładunek ten zostanie skierowany bezpośrednio do wydzielonych komórek fermentacyjnych, co przełoży się na zintensyfikowanie produkcji gazu fermentacyjnego. Dzięki temu związki organiczne, które zostałyby utlenione w bloku biologicznym z wykorzystaniem energii, przyczynią się do jej produkcji. Korzyści wynikające z implementacji rozwiązania, zgodnie z wyliczeniami, mogą zmniejszyć całkowite zapotrzebowanie na tlen o nawet 28%, a produkcję energii zwiększyć o 24%, w stosunku do stanu obecnego. Dodatkową zaletą proponowanego rozwiązania jest możliwość obniżenia wieku osadu, co przekłada się na zwiększenie rezerw przepustowości w reaktorach jak i osadnikach wtórnych. Wspomniane rozwiązania zostały zasymulowane w prostym modelu matematycznym ASM2d z wykorzystaniem rzeczywistych parametrów zarówno ścieków jak i samej rozpatrywanej oczyszczalni, w dwóch wariantach (obecny i modyfikowany) dla dwóch skrajnych pór roku (lato i zima). Symulowane efekty oczyszczania ścieków wyliczono na podstawie zmian takich parametrów

jak: wiek osadu (WO) oraz stężenie tlenu w komorach nityfikacji. Łącznie przeprowadzono około 11,5 tys. symulacji, spośród których wytypowano te, które co najmniej dorównują efektom oczyszczania w warunkach referencyjnych przy niższych kosztach napowietrzania. Przedstawione w niniejszej pracy rozwiązanie zostało przyjęte do realizacji na rzeczywistym obiekcie.

## Literatura

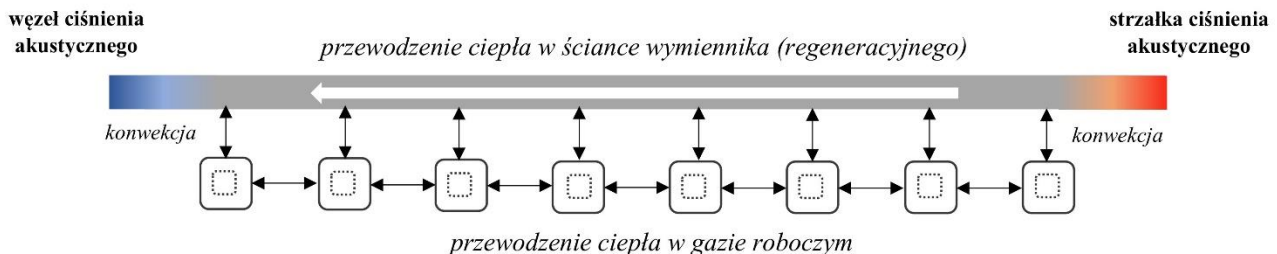
- [1] Lai Ch., Guo Y., Cai Q., Yang P., *Enhanced nitrogen removal by simultaneous nitrification-denitrification and further denitrification (SND-DN) in a moving bed and constructed wetland (MBCW) integrated bioreactor*, “Chemoshere” 2020, Vol. 261.
- [2] Wang L., Li B., Li Y., Wang J., *Enhanced biological nitrogen removal under low dissolved oxygen in an anaerobic-anoxic-oxic system: Kinetics, stoichiometry and microbial community*, “Chemoshere” 2021, Vol. 263.
- [3] Deng S., Peng Y., Zhang L., Wu L., *Advanced nitrogen removal from municipal wastewater via two-stage partial nitrification-simultaneous anammox and denitrification (PN-SAD) process*, “Bioresource Technology” 2020, Vol. 304.

# ZŁOŻONY SYSTEM POMIAROWY URZĄDZENIA TERMOAKUSTYCZNEGO: WYBRANE ZAGADNIENIA PROJEKTOWE I EKSPLOATACYJNE

## SOPHISTICATED MEASURING SYSTEM OF A THERMOACOUSTIC DEVICE: SELECTED DESIGN AND OPERATIONAL ISSUES

*Krzysztof Grzywnowicz, Leszek Remiorz  
 Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki*

W grupie urządzeń termoakustycznych znajdują się urządzenia generujące falę akustyczną wskutek wytworzenia i utrzymania gradientu temperatury (silniki termoakustyczne) oraz wymuszające przepływ ciepła w kierunku przeciwnym do samorzutnego w wyniku propagacji fali akustycznej o określonych parametrach (termoakustyczne chłodziarki lub pompy ciepła) [1]. Ze względu na swoje liczne zalety, w tym relatywnie prostą i trwałą konstrukcję oraz potencjalnie wysoką bezobsługowość [1, 2], od lat stanowią one przedmiot badań o charakterze podstawowym, jak i aplikacyjnym [3]. Jednakże, to urządzenia działające w obiegu lewobieżnym (rys. 1), stanowią obecnie przedmiot głębokiego zainteresowania środowisk naukowych – ze względu na ich potencjalnie najwyższą sprawność [3].



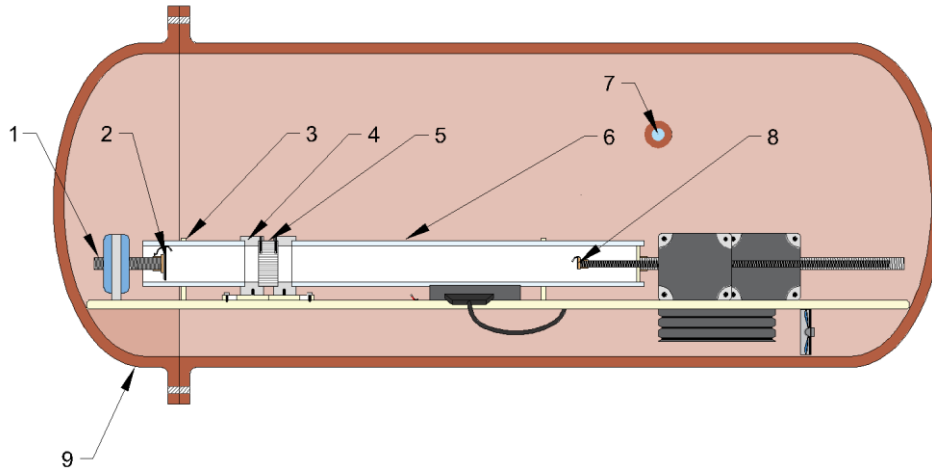
Rys. 1. Schemat ideowy zjawiska termoakustycznego, zachodzącego w obiegu lewobieżnym

Opracowanie optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych w większości rozwiązań technologicznych wymaga przeanalizowania układu nie tylko na drodze symulacji. Przeprowadzenie badań eksperymentalnych na prototypowym urządzeniu termoakustycznym związane jest jednak z szeregiem trudności, wynikających z m.in. konieczności jednoczesnego monitorowania szybkozmiennych parametrów akustycznych i relatywnie stabilnych parametrów termalnych. Niepełna wiedza na temat charakterystyki toru pomiarowego lub parametrów zastosowanych w nim przyrządów może prowadzić np. do realizacji pomiarów przy zbyt niskiej częstotliwości próbkowania lub nieadekwatnie wysokiej niepewności pomiarowej, skutkując znaczącym obniżeniem jakości zebranych danych.

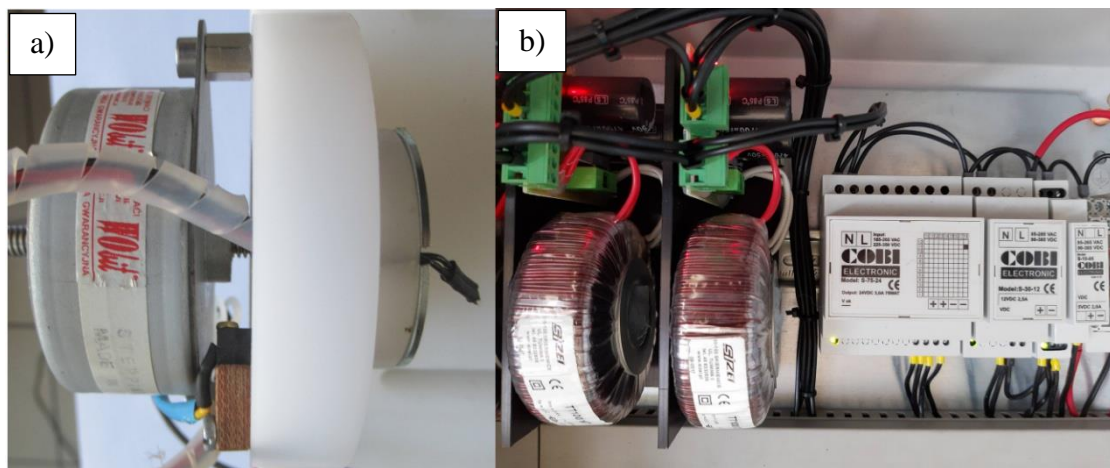
W referacie przedstawiono opis najważniejszych zagadnień, dotyczących projektowania i eksploatacji układu pomiarowego rzeczywistego urządzenia termoakustycznego, funkcjonującego jako pompa ciepła (rys. 2). Omówiono selekcję punktów pomiarowych oraz wielkości mierzonych ze względu na cel prowadzonego eksperymentu (obserwacja fenomenu, uzyskanie stabilnego rezonansu akustycznego), a także podstawową metodologię oszacowania wartości błęd pomiarowych zastosowanych czujników, nieprzekraczającego w analizowanym przypadku  $0,2^{\circ}\text{C}$  dla pomiaru temperatury i  $30\ \mu\text{Pa}$  dla pomiaru ciśnienia akustycznego.

W pracy nakreślono wpływ pracy kluczowych podzespołów złożonego urządzenia – takich jak korektor położenia głośnika (fot. 1a) czy przetwornice elektryczne (fot. 1b) – na dodatkowe błędy pomiarowe, sięgające kilkusetkrotności wartości spodziewanych. Zaprezentowano również narzędzia matematycznego przetwarzania

i analizy sygnałów, takie jak dyskretna transformata Fouriera czy funkcja autokorelacji, szczególnie przydatne na etapie weryfikacji stanu pracy urządzenia.



Rys. 2. Schemat stanowiska urządzenia termoakustycznego: 1 – układ korektora położenia głośnika, 2 – głośnik membranowy, 3 – podpora obudowy kanału akustycznego, 4 – układ podpór regeneratora, 5 – regenerator, 6 – obudowa kanału akustycznego, 7 – wyprowadzenie czujnika ciśnienia gazu, 8 – czujnik ciśnienia akustycznego (mikrofon), 9 – zbiornik ciśnieniowy



Fot. 1. Przykładowe podzespoły stanowiące potencjalne źródła przesłuchu:  
 a) korektor położenia głośnika (silnik krokowy), b) układ wysokoprądowej przetwornicy AC/DC

## Literatura

- [1] Tijani M.E.H., *Loudspeaker-driven thermo-acoustic refrigeration*, rozprawa doktorska, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven 2001.
- [2] Tijani M.E.H. i in., *Design of thermoacoustic refrigerators*, “Cryogenics” 2002, Vol. 42, pp. 49-57.
- [3] Spoelstra S., *ThermoAcoustic Technology for Energy Applications. Final Report*, Energy Research Centre of the Netherlands, Petten 2012.

**II SESJA REFERATOWA**  
**BUDOWA I EKSPLOATACJA**  
**SYSTEMÓW ENERGETYCZNYCH**  
**DEVELOPMENT AND OPERATION**  
**OF POWER SYSTEMS**





# ZASTOSOWANIE PRZESUWNEGO OKNA CZASOWEGO DO ADAPTACJI MODELU PROGNOZOWANIA ZAPOTRZEBOWANIA NA CIEPŁO DLA MIEJSKIEJ SIECI CIEPŁOWNICZEJ

## THE USE OF A SLIDING TIME WINDOW TO ADAPT THE HEAT DEMAND FORECASTING MODEL IN THE DISTRICT HEATING NETWORK

Maciej Bujalski<sup>1,2</sup>, Paweł Madejski<sup>2</sup>, Krzysztof Fuzowski<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PGE Energia Ciepła S.A.

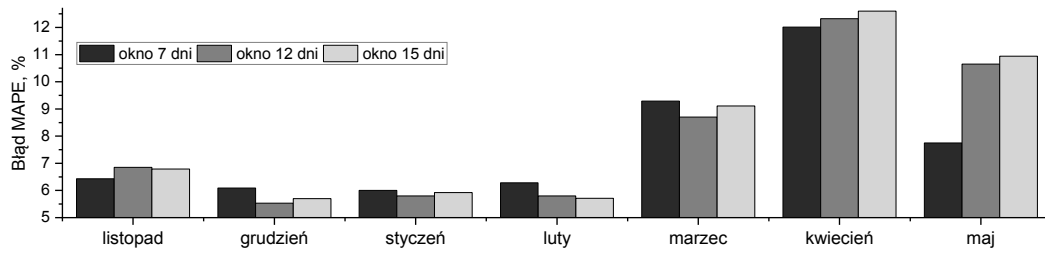
<sup>2</sup>Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

<sup>3</sup>PGE Polska Grupa Energetyczna S.A.

System ciepłowniczy oparty o elektrociepłownię zasilającą miejską sieć ciepłowniczą, stanowi powszechną formę dystrybucji ciepła w dużych obszarach miejskich. Poziom produkcji energii elektrycznej w kogeneracyjnych źródłach ciepła zależy od bieżącego obciążenia cieplnego sieci. Z drugiej strony, obserwowane są dynamiczne zmiany cen energii elektrycznej na rynku dnia następnego, gdzie wolumen energii kontraktowany jest w poszczególnych godzinach doby. Wymusza to aktywne podejście do kontroli i optymalizacji produkcji energii w skojarzeniu, zwłaszcza gdy elektrociepłownia wyposażona jest w kilka jednostek wytwórczych i akumulator ciepła. Głównym elementem optymalizacji jest krótkoterminowe planowanie produkcji (do kilku dni naprzód), a podstawową daną wejściową jest godzinowa prognoza zapotrzebowania na ciepło [1]. Na tej podstawie planowany jest sposób pokrycia spodziewanego profilu zapotrzebowania, z uwzględnieniem aspektów technologicznych i ekonomicznych.

W referacie zawarto przegląd stosowanych rozwiązań w prognozowaniu krótkoterminowego zapotrzebowania na ciepło w skali dużych systemów ciepłowniczych. W literaturze odnotowano wzrost zainteresowania metodami bazującymi na algorytmach uczenia maszynowego. Na godzinowe zapotrzebowania na ciepło, poza danymi pogodowymi wpływa charakter poboru ciepła przez użytkowników końcowych, a także dynamika sieci ciepłowniczej pod wpływem zmiennych warunków eksploatacyjnych, takich jak bezwładność cieplna budynków, straty ciepła, częste zmiany parametrów wody sieciowej. Poza tym, dobowy profil obciążenia cieplnego może się zmieniać w czasie, ze względu na termomodernizację budynków, zmianę regulacji węzłów ciepłowniczych lub nowe przyłącza do sieci ciepłowniczej. Z tej przyczyny, dużą uwagę przywiązuje się do metod kalibracji modelu w celu bieżącego uczenia modelu do aktualnej specyfiki eksploatacji systemu [2].

W referacie przedstawiono wyniki obliczeń z opracowanego modelu zapotrzebowania na ciepło na podstawie parametrów pogodowych (temperatura otoczenia, prędkość wiatru i nasłonecznienie), z wykorzystaniem metody Uogólnionego Modelu Addytywnego GAM (ang. *Generalized Additive Model*). Model został opracowany z użyciem niekomercyjnego pakietu mgcv w języku programowania R [3]. Opisano sposób budowy modelu predykcyjnego, minimalizację błędów i procedurę jego adaptacji w oparciu o zastosowanie przesuwne okna czasowego z danymi uczącymi model. Każdorazowo przed wystawieniem prognozy, wykonana moc cieplna jest dopasowywana do faktycznych danych pogodowych z horyzontu ostatnich dób. Przedstawione wyniki uzyskano na podstawie danych pochodzących z rzeczywistego systemu ciepłowniczego, o szczytowym zapotrzebowaniu na poziomie około 200 MWt. Analizie poddano wpływ rozmiaru okna (liczba dób w przedziale od kilku do kilkunastu) na błąd predykcji w horyzoncie doby następnej, podczas różnych okresów eksploatacji w okresie grzewczym i przejściowym (rys. 1). W rezultacie otrzymano model o średniosezonowym błędzie poniżej 7%. Wykazano, że zastosowanie adaptacji z relatywnie krótkim oknem treningowym, może istotnie zwiększyć dokładność modelu. Dotyczy to głównie okresów typowo przejściowych (kwiecień–maj), gdzie naistotniejsze warunki wpływające na pracę sieci zmieniają się dynamicznie.



Rys. 1. Średniomiesięczny błąd procentowy modelu w zależności od rozmiaru okna treningowego

## Literatura

- [1] Żymełka P., Szega M., Madejski P., *Techno-economic optimization of electricity and heat production in gas-fired CHP plant with heat accumulator*. “J Energy Resour Technol” 2020, Vol. 142, No. 2, 022101.
- [2] Nigitz T., Gölles M., *A generally applicable, simple and adaptive forecasting method for the short-term heat load of consumers*, “Appl Energy” 2019, Vol. 241, pp. 73–81, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.012>.
- [3] Wood S., *mgcv: GAMs and Generalized Ridge Regression for R*, “R News” 2001, Vol. 1, No. 2, pp. 20-25.

# KONCEPCJA INTEGRACJI BLOKU JĄDROWEGO Z REAKTOREM PWR Z SIECIĄ CIEPŁOWNICZĄ TRÓJMIASTA

## THE TECHNICAL CONCEPT OF COOPERATION BETWEEN PWR-TYPE NUCLEAR POWER UNIT AND TRICITY DISTRICT HEATING SYSTEM

*Maciej Cholewiński*

*Politechnika Wroclawska, Katedra Technologii Energetycznych, Turbin  
i Modelowania Procesów Ciepłno-Przepływowych*

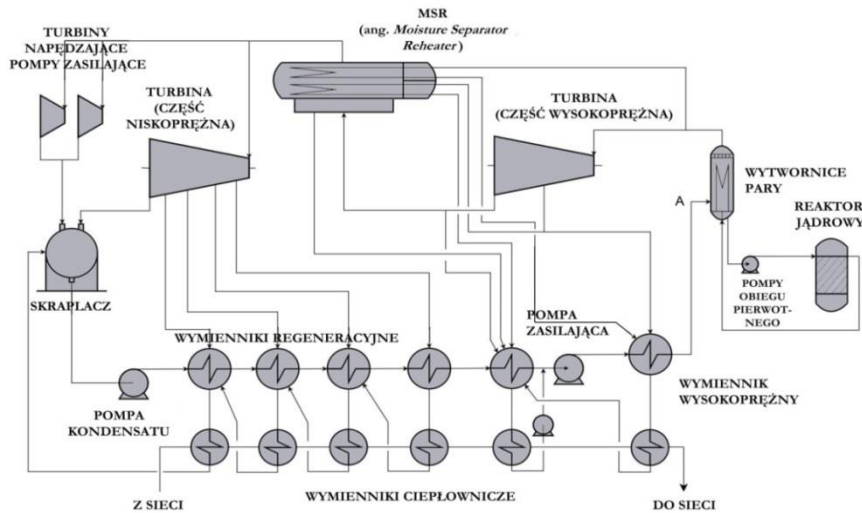
Rozwój energetyki jądrowej stanowi obecnie jeden z głównych filarów postępującej transformacji technologicznej, proekologicznej i paliwowej polskiego sektora energetycznego. Obecność jednostek jądrowych w Polsce wydaje się być celowa przede wszystkim ze względu na potrzebę wzmocnienia tzw. podstawy ww. systemu, celowość racjonalizacji przyszłych kosztów wytwarzania energii elektrycznej, wymóg ograniczania emisji zanieczyszczeń przemysłowych w krajach członkowskich UE oraz plany rozbudowy krajowej infrastruktury energetycznej korzystającej z OZE. W myśl projektu rządowego pn. *Polityka energetyczna Polski do 2040 r.*, w perspektywie 23 najbliższych lat w naszym kraju powstać ma 6 bloków tego typu o łącznej mocy nominalnej 6–9 GW, z czego pierwszy – o mocy 1–1,6 GW – już w 2033 roku.

Ze względu na strukturę paliwową oraz specyfikę sektora ciepłownictwa w Polsce, interesującą koncepcją techniczną wydaje się być uciepłownienie dużych bloków jądrowych. Idea ta była rozpatrywana m.in. przez fińskie konsorcjum Fortum w obrębie planowanego bloku nr 3 w elektrowni Loviisa, oddalonej od Helsinek o ok. 80 km. Uzasadniona ona była celowością ograniczania zużycia paliw kopalnych w stołecznych systemach grzewczych, redukcji emisji zanieczyszczeń (poprawą jakości powietrza), zmniejszania ilości ciepła wyprowadzanego do otoczenia (Zatoki Fińskiej) z układów chłodzących elektrowni oraz poprawy sprawności bloku. Moc elektryczna elektrowni zostałaby planowo zmniejszona (planowo o 1/6 mocy cieplnej) kosztem wyraźnego wzrostu sprawności ogólnej bloku i pojawienia się możliwości generacji mocy ciepłowniczej. Jak jednak wskazywano, do precyzyjniejszej oceny spodziewanych wskaźników eksploatacyjnych proponowanego rozwiązania niezbędne było m.in. zidentyfikowanie zmienności zapotrzebowania na ciepło sieciowe (a więc dobór mocy nominalnej członu ciepłowniczego), optymalizacja sposobu ekstrakcji ciepła z obiegu oraz obliczenie wartości strat przesyłowych towarzyszących pracy sieci ciepłowniczej.

W pracy przedstawiono wyniki wstępnych analiz i symulacji dedykowanych potencjalnemu wdrożeniu ww. idei na terenie Trójmiasta i okolic. Wybór lokalizacji rynku ciepła wynika z faktu możliwości budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej na terenie bezpośrednio przylegającym do Jeziora Żarnowieckiego (powiat wejherowski), korzystnym w przypadku siłowni ciepłych m.in. z racji bliskości Morza Bałtyckiego oraz Elektrowni Szczytowo-Pompowej „Żarnowiec”. Podjęto się m.in. określenia wpływu różnych sposobów odbioru ciepła z obiegu wtórnego przykładowej elektrowni jądrowej wyposażonej w lekkowodny reaktor typu PWR na sprawność wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, zaproponowano ponadto trasę i wyznaczono parametry pracy ciepłociągów. Ilość odbieranego z układu ciepła odniesiono do minimalnego chwilowego zapotrzebowania na ciepło sieciowe Trójmiasta i okolic, oszacowanego – na rok 2030 – na ok. 250 MW.

Do stworzenia modelu komputerowego posłużył uproszczony układ technologiczny jednego z bloków energetycznych funkcjonujących w hiszpańskiej elektrowni jądrowej Ascó (rys. 1). Elektrownia ta, wyposażona w 2 reaktory produkcji Westinghouse Electric Corporation (obecnie Company) – każdy skojarzony z blokiem o mocy nominalnej ok. 1000 MW, wykorzystuje rozwiązania, które w relatywnie dużym stopniu mogą zostać wykorzystane w przypadku wyboru technologii jądrowej związanej z reaktorem AP1000 (produkcji tego samego amerykańskiego koncernu). W analizach wykorzystano oprogramowanie Aspen Hysys. Zamodelowany obiekt w stanie przed uciepłownieniem wykazywał moc cieplną równą 3088 MW i elektryczną 1012 MW. Szacowana sprawność całkowita oszacowana została na 32,8%. Spośród analizowanych przypadków wybrano

3 dominujące, zakładające: 1) odbiór ciepła od pary wodnej z upustu turbiny niskoprężnej, 2) odbiór ciepła od pary wodnej za MSR, wprowadzanej za wymiennikiem ciepłowniczym przed ostatnie stopnie turbiny niskoprężnej, 3) nadbudowę wymienników regeneracyjnych o dodatkowe powierzchnie i częściowe ograniczenie mocy reaktora (celem utrzymania zadanych parametrów wody i pary obiegu wtórnego).



Rys. 1. Koncepcja obiegu pierwotnego i wtórnego bloku jądrowego z członem ciepłowniczym (na podstawie [1])

Najlepsze parametry pracy obiektu uzyskano dla ostatniej z przywołanych koncepcji, związanej ze zmniejszeniem skuteczności regeneracji. Z tego względu nie zalicza się on do klasycznych rozwiązań skojarzonej generacji ciepła i elektryczności. Ograniczeniu mocy reaktora do 2982 MW towarzyszył w nim spadek mocy netto bloku do 915 MW (o niecałe 10%) i możliwość wyprowadzania – w sposób ciągły – 219 MW ciepłej wody użytkowej w sieci. O ile sprawność elektryczna netto elektrowni (stosunek mocy elektrycznej netto do mocy termicznej reaktora) spadła do 30,7% (o 6,4%), o tyle sprawność całkowita (stosunek sumy mocy użytecznych do mocy termicznej reaktora) bloku wzrosła do 38,0% (o 15,8%). Efekt cieplny wydaje się być przede wszystkim wynikiem przechłodzenia skroplin z wymienników regeneracyjnych, tj. przed wytwornicami pary (w analizach założono możliwie najmniejszą ingerencję w pozostałe elementy obiegu, m.in. stałą temperaturę i ciśnienie pary dopływającej do części wysokoprężnej turbiny). Daje to podstawę m.in. do ustalenia niezbędnych modyfikacji w obrębie wspomnianych wymienników ciepła w celu realizacji omawianej koncepcji.

Zaproponowano także sposób szacowania wartości emisji unikniętych w ramach zastępowania bloków węglowych przez bloki jądrowe, pozwalający także na wyznaczanie wspomnianych korzyści środowiskowych z tytułu ucieplnienia bloku (przy założeniu wartości wskaźnika skojarzenia). Z wykonanych obliczeń wynika, iż na każdy 1 MWh netto modelowej elektrowni spalającej węgiel kamienny, spełniającej wymagania standardów BAT-AELs, przypada emisja 876 kg CO<sub>2</sub> (1024 kg w przypadku spalania węgla brunatnego), 35,0–455,0 g SO<sub>2</sub>, 227,5–525,0 g NO<sub>x</sub>, 3,5–70,0 g HCl, 7,0–42,0 g popiołów lotnych oraz do 14,0 mg Hg.

Opis szczegółowy przywołanych procedur obliczeniowych oraz uzyskanych wyników został zamieszczony w innych recenzowanych publikacjach autora [1–3].

## Literatura

- [1] Cholewiński M., Tomków Ł., *Modeling of a nuclear combined heat and power station supplying heat to remote municipal customers – the case of Poland*, „Journal of Power Technologies” 2018, Vol. 98, No. 3, pp. 255–266.
- [2] Cholewiński M., *The reduction of atmospheric emissions after the implementation of first Polish nuclear power plant*, „EPJ Web of Conferences” 2018, Vol. 177, 01001, pp. 1–5.
- [3] Tomków Ł., Cholewiński M., *Modelling of different cogeneration technologies in a power generating unit with PWR reactor in the context of a future polish nuclear power station*, „Challenges of Modern Technology” 2017, Vol. 8, No. 1, pp. 32–36.

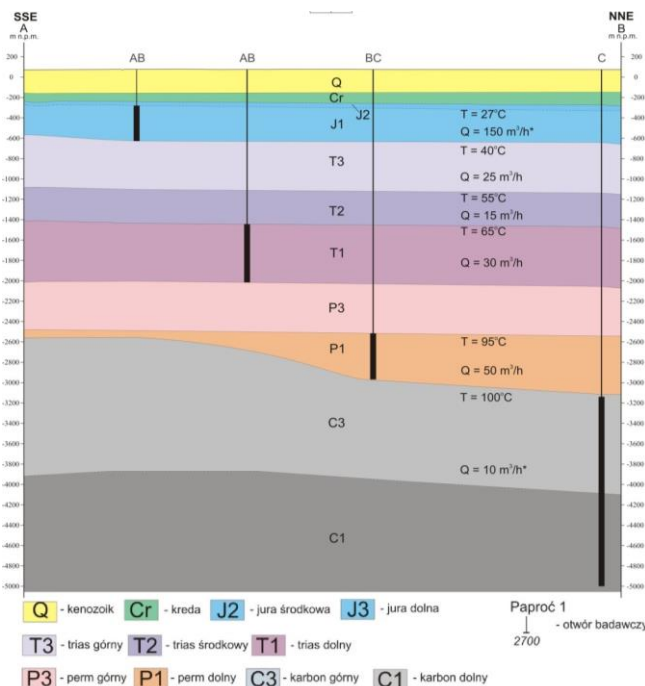
# MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII GEOTERMALNEJ W WIELKOPOLSCE – MODERNIZACJA SYSTEMU CIEPŁOWNICZEGO NOWEGO TOMYŚLA

## POSSIBILTIES FOR USE OF GEOTHERMAL ENERGY IN GREATER POLAND PROVINCE – MODERNIZATION OF THE NOWY TOMYŚL HEATING SYSTEM

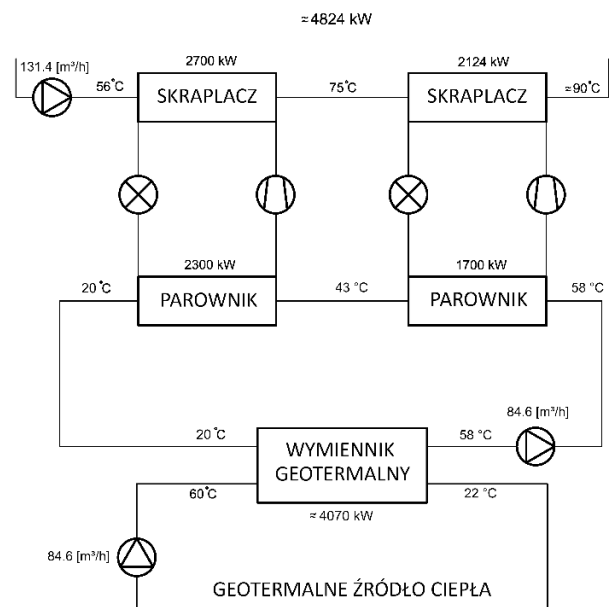
Jakub Szymiczek

*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,  
 Katedra Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska*

Referat przedstawia ocenę potencjału energetycznego, koncepcje geotermalnego systemu grzewczego, propozycję zamiany spalania na OZE, studium wykonalności i analizę ekonomiczną planowanej ciepłowni geotermalnej w mieście Nowy Tomyśl. Przedstawiono wykorzystanie ciepła geotermalnego w świecie [1]. W wystąpieniu zostały przedstawione warunki geologiczne Województwa Wielkopolskiego oraz określone potencjalne zbiorniki geologiczne województwa, powiatu i Gminy Nowy Tomyśl, pozwalające na eksploatację wód termalnych [2, 3]. Zbiorniki: Kredy Dolnej, Jury Dolnej, Triasu Dolnego i Permu Dolnego zostały przeanalizowane pod względem ich głębokości, temperatury, przewodności hydraulicznej i potencjalnej wydajności ujęć (rys. 1).



Rys. 1. Przekrój geologiczny gminy Nowy Tomyśl



Rys. 2. Schemat projektowanego systemu SPCDM dla Ciepłowni Geotermalnej Nowy Tomyśl

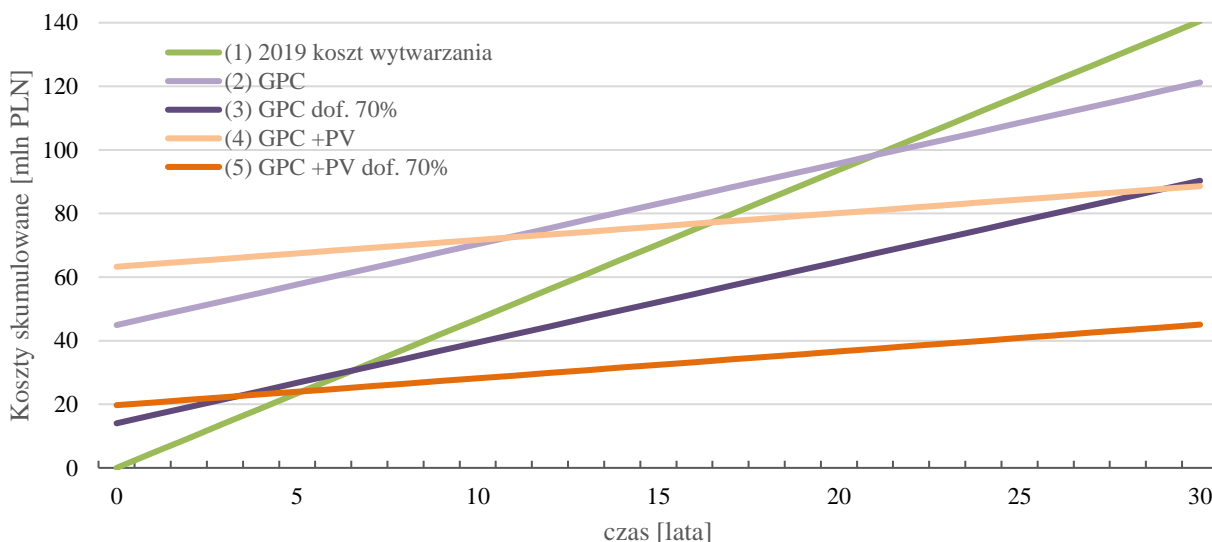
Została przeprowadzona analiza stanu obecnego i przedstawiono ekologiczny, możliwy wariant modernizacji ciepłowni i sieci ciepłej w Nowym Tomyślu (rys. 2). W modernizacji przewidziano zastosowanie sprężarkowych pomp ciepła dużej mocy (SPCDM) [4], pozwalających na maksymalne wykorzystanie ciepła



geotermalnego w wysokotemperaturowej miejskiej sieci ciepłowniczej. Przeprowadzono analizę ekonomiczną z określeniem średniego kosztu ciepła –  $LCoH$  (1), [5] i przepływów pieniężnych (rys. 3) dla różnych wariantów finansowania i zasilania projektu geotermalnego miasta.

$$LCoH = \frac{INV - SUB + \sum_t MAI \times (1 + R)^{-t}}{\sum_t HEAT \times (1 + R)^{-t}} \quad (1)$$

gdzie:  $INV$  jest kosztem inwestycji,  $SUB$  jest kwotą dofinansowania,  $MAI$  jest rocznym kosztem utrzymania,  $r$  jest stopą dyskontową,  $t$  jest czasem zwrotu inwestycji,  $HEAT$  jest ciepłem wyprodukowanym w ciągu roku.



Rys. 3. Wykres skumulowanych przepływów pieniężnych dla analizowanych wariantów modernizacji

## Literatura

- [1] Lund J.W., Toth A.N., *Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review*, “Proceedings World Geothermal Congress 2020”, 2020, Reykjavik, Iceland, April 26–May 2.
- [2] Górecki W., *Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu polskim*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków 2006, ISBN: 83-88927-12-2.
- [3] Górecki W., *Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu polskim*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków 2006, ISBN 83-88927-14-0.
- [4] Zimny J., Michalak P., Szczotka K., *Polish heat pump market between 2000 and 2013: European background, current state and development prospects*, “Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2015, Vol. 48, pp. 791–812.
- [5] Nian V. et al., *A Comparative Cost Assessment of Energy Production from Central Heating Plant or Combined Heat and Power Plant*, “Energy Procedia” 2016, Vol. 104, pp. 556–561.

# TECHNOLOGIE ODZYSKU WODY ZE ŚCIEKÓW NA CELE ENERGETYCZNE

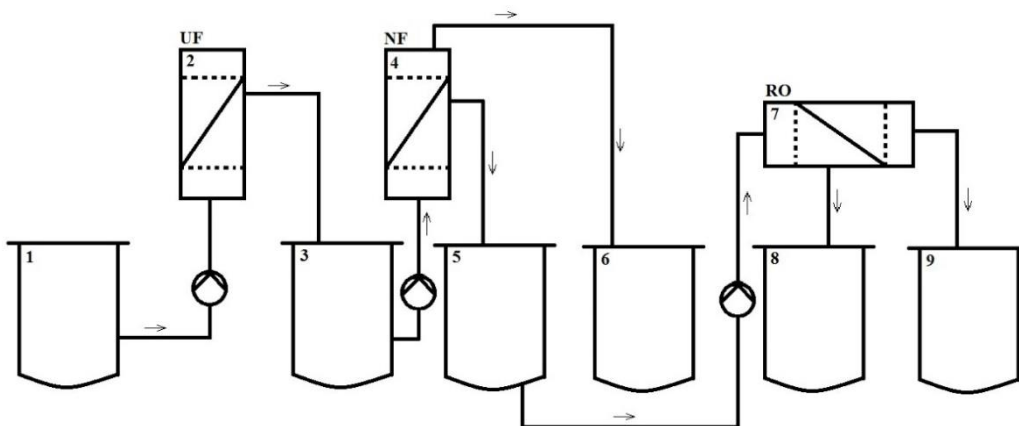
## WATER RECOVERY TECHNOLOGIES FROM WASTEWATER FOR ENERGY PURPOSES

*Krystian Czuba*

*Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska;*

*Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Materiałów Polimerowych i Węglowych*

Rozwój przede wszystkim technologiczny, ale również i gospodarczy państw rozwiniętych pociąga za sobą wzrastające potrzeby energetyczne do spełniania rosnących wymagań. Na całym świecie rozwijane są metody produkcji i przetwarzania energii, jednakże często zapomina się o czynniku, bez którego żadna technologia nie mogłaby funkcjonować, mianowicie o wodzie. Woda jest surowcem niezbędnym do sprawnego działania przemysłu energetycznego, od pozyskania surowca energetycznego do wytworzenia energii. Jednakże światowe zasoby wody maleją, co powoduje, że z czasem woda może stać się towarem deficytowym, a zapotrzebowanie na nią będzie wciąż rosło. Aby sprostać tym oczekiwaniom koniecznym jest sięgnięcie do innego źródła wody niż dotychczas.



Rys. 1. Schemat instalacji badawczej. 1 – zbiornik surowca (ścieków oczyszczonych), 2 – moduł z membraną UF, 3 – zbiornik permeatu po UF/surowca do NF, 4 – moduł z membraną NF, 5 – zbiornik permeatu NF/surowca do RO, 6 – zbiornik retentatu po NF, 7 – moduł z membraną RO, 8 – zbiornik permeatu po RO, 9 – zbiornik retentatu po RO

W niniejszych badaniach przedstawiona została perspektywa użycia wody pochodzącej z zintegrowanego procesu oczyszczania ścieków oczyszczonych pochodzenia komunalnego z użyciem ciśnieniowych metod membranowych (ultra- i nanofiltracji oraz odwróconej osmozy) jako surowca na potrzeby przemysłu. Schemat zintegrowanego procesu przedstawił na rys. 1. Szeroki zakres oczyszczania wody możliwy dzięki wykorzystaniu procesów membranowych pozwala na produkcję wody o różnej klasie czystości, które spełniają normy jakości wód używanych jako technologiczne, co w szczególności jest ważne przy wykorzystaniu wody w urządzeniach ciepłowniczych [1]. Permeat po procesie ultrafiltracji jest oczyszczony całkowicie z zawartości zawiesiny ogólnej, a także w ponad 30% z ChZT i ponad 60% fosforu ogólnego. Stanowi to dobrze przygotowany surowiec do procesów nanofiltracji i odwróconej osmozy. Złazszcza woda o parametrach wody oczyszczonej po tych procesach stanowi duży potencjał użytkowy dla każdego etapu produkcji energii. Permeat po nanofiltracji jest oczyszczony w ponad 70% z ChZT oraz siarczanów, w ponad 80% z fosforanów oraz kationów wapnia i w ponad 90% z fosforu ogólnego. Natomiast permeat po odwróconej osmozie w ponad 90% jest oczyszczony



---

z kationów wapnia i magnezu, chlorków, ChZT, azotu amonowego i fosforu ogólnego, a w ponad 80% z siarczanów, form azotu (amonowego, azotynów i ogólnego) oraz fosforanów.

Zastosowana technologia dąży do obiegu cyrkularnego, co z perspektywy malejących zasobów wodnych nie jest już tylko interesującą alternatywą dla wykorzystania istniejących źródeł wody, ale staje się nieodłącznym elementem dzięki któremu możliwy będzie dalszy rozwój cywilizacyjny.

## Literatura

- [1] Litwinowicz A., *Jak poprawić sprawność systemów ciepłowniczych. Sposób na wodę*. „Energetyka Ciepła i Zawodowa” 2010, Vol. 6, s. 28–32.

# BETON KONOPNY JAKO MATERIAŁ IZOLACYJNY DO ZASTOSOWAŃ W ZRÓWNOWAŻONYM BUDOWNICTWIE

## HEMP CONCRETE AS INSULATION MATERIAL FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION APPLICATIONS

*Igor Klementowski, Sławomir Pochwała, Anna Król  
Politechnika Opolska, Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej*

Beton konopny pojawił się na polskim rynku dopiero kilka lat temu i wymaga wielu badań. Materiał ten spełnia wszystkie warunki materiału, który jest przyjazny środowisku, co w dzisiejszych czasach staje się coraz bardziej istotną kwestią. Doskonałe właściwości termoizolacyjne betonu konopnego są wynikiem wysokiej porowatości paździerzy konopnych [1]. Jego właściwości skłaniają coraz więcej osób w kraju i za granicą do prowadzenia badań i propagowania zastosowania tego materiału do budowy budynków lub termomodernizacji istniejących już budynków. Materiał ten odznacza się zerowym śladem węglowym, gdyż paździerz z rośliny, z której pochodzi pochłania więcej CO<sub>2</sub> z atmosfery w trakcie wzrostu niż generowana ilość tego związku przy produkcji betonu konopnego. Badania przeprowadzone w 2013 roku wykazały, iż w 1 tonie suchych konopi zmagazynowane jest około 325 kg CO<sub>2</sub> [1,2].

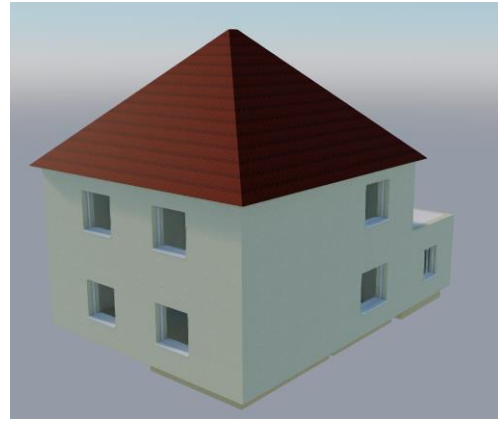
Przedstawiony na rys.1 kompozyt wapienno-konopny – Hempcrete (z ang. *Hemp* – konopie, *concret* – beton) składa się z wody, paździerzy konopnych, wapna, a także innych dodatków, które stosowane są do polepszenia jego właściwości. Składniki wymieszane ze sobą, kolejno się zagęszcza. Prowadzi to do powstania lekkiego, wytrzymałego materiału o dobrych parametrach izolacyjnych oraz podwyższonej odporności ogniowej. Jego struktura pozwala na wypełnienie dowolnej przestrzeni. Przy pomocy deskowania umożliwia wykonanie całej przegrody. Z hempcrete możliwe jest również wykonanie płyt podłogowych lub izolacji dachów czy sufitów. Beton konopny nie jest materiałem nośnym, dlatego zawsze należy lokalizować go wokół specjalnie zaprojektowanej konstrukcji nośnej, która najczęściej wykonana jest z drzewa iglastego [3].



Rys. 1. Kompozyt wapienno konopny

Celem opracowania jest porównanie standardu energetycznego wybranego budynku jednorodzinnego wykonanego z cegły do alternatywnych metod wykorzystanych w dwóch wariantach, czyli budowy z betonu konopnego oraz słomy i gliny. Model obiektu został zaprojektowany w programie ArCADia 12 BIM (rys. 2), natomiast dalsze obliczenia energetyczne oraz wskaźniki zostały wygenerowane za pomocą ArCADii TERMOCAD. Stworzone warianty przedstawiają czytelne wyniki charakteryzujące każdą przegrodę oraz oceniają budynek wykonany kompleksowo daną metodą. Badania laboratoryjne pozwoliły wyznaczyć

współczynniki przewodzenia ciepła rozpatrywanych kompozytów. Porównanie dotyczy zapotrzebowania na energię pierwotną EP.



Rys. 2. Rozpatrywany budynek jednorodzinny oraz jego przestrzenny model wykonany w programie ArCADia 12 BIM

Zamodelowany budynek wykorzystano do przeprowadzenia obliczeń cieplnych w trzech wariantach, którymi są:

- wariant 1 – tradycyjny murowany – Porotherm,
- wariant 2 – hempcrete, drewno,
- wariant 3 – trzcina, glina, słoma, drewno.

W budynkach wykorzystano identyczny system wentylacji mechanicznej z odzyskiem, której sprawność wynosi ok. 60% oraz tę samą stolarkę okienną i drzwiową, których współczynniki przenikania ciepła spełniają normy projektowe na rok 2021.

## Literatura

- [1] Stanwix W., Sparrow A., *Podręcznik budowania z konopi.* „Cohabitat” 2016, Łódź.
- [2] Brzyski P., Jastrzębski P., Pacquet M., *Budowanie z konopi.* „Cohabitat” 2016, Katowice.
- [3] Abdellatef Y., Kavgic M., *Thermal, microstructural and numerical analysis of hempcrete-microencapsulated phase change material composites.* “Appl. Therm. Eng.” 2020, Vol. 178, 115520.

# ISTOTA POSZCZEGÓLNYCH SKŁADOWYCH W INSTALACJI OPARTEJ NA PRACY POMPY CIEPŁA WSPOMAGANEJ PRZEZ OGNIWA PVT I KOLEKTORY SŁONECZNE

## THE ROLE OF INDIVIDUAL COMPONENTS IN AN INSTALLATION BASED ON THE HEAT PUMP SUPPORTED BY PVT PANELS AND SOLAR COLLECTORS

*Natalia Generowicz*

*Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki*

W ciągu ostatnich kilku lat, zgodnie z europejską dyrektywą 2020, każde państwo członkowskie UE zwraca coraz większą uwagę na sektor energetyczny. Wyznaczone cele dotyczą zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych o 20% w porównaniu z poziomem z 1990 r., pokrycia zapotrzebowania na energię ze źródeł odnawialnych na poziomie 20% oraz zwiększenia efektywności energetycznej o 20%. Z tego powodu, każdy kraj UE zachęca do korzystania z odnawialnych źródeł energii, zmniejszając zużycie paliw kopalnych. Środki w zakresie efektywności energetycznej dotyczą wszystkich sektorów, przemysłu, transportu i budownictwa. W szczególności, w odniesieniu do budynków, sektor mieszkaniowy, stanowiący 27% globalnego zużycia energii i emisji CO<sub>2</sub>, przykuwa znaczną uwagę. Jeśli chodzi o wielkość instalacji, w ostatnich latach kilka badań koncentrowało się na pompach ciepła jako systemach grzewczych. Ten w pełni elektryczny, źródłowy system ciepły pełni zasadniczą rolę w poprawie efektywności energetycznej i ograniczeniu emisji wynikających z eksploatacji paliw kopalnych [1].

W ostatnim czasie, od momentu zwrócenia uwagi na rozproszoną produkcję energii, coraz częściej mówi się o systemach hybrydowych zdolnych do wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej. Kolektory fotowoltaiczne (PV) i słoneczne kolektory ciepłe są dostarczane dla wszystkich nowo budowanych budynków mieszkalnych. W rzeczywistości integracja systemów kolektorów słonecznych z budynkami jest jednym z najbardziej dyskutowanych zagadnień badawczych dla systemów ogrzewania budynków solarnych [2].

W przypadku technologii PV udowodniono, że chłodzenie powierzchni roboczej jest kluczowym czynnikiem eksploatacyjnym, który należy wziąć pod uwagę w celu uzyskania wyższej sprawności. Prawidłowe chłodzenie może poprawić sprawność elektryczną i z czasem zmniejszyć tempo degradacji ogniw. Ponadto, ciepło usuwane przez system chłodzenia może być wykorzystywane w zastosowaniach domowych. W systemach PVT (hybrydowy system fotowoltaiczny i termiczny) tylko 15–20% energii słonecznej padającej na panel PVT może zostać zamienione na energię elektryczną, a pozostała część na ciepło; ta część energii ciepłej może zostać wykorzystana do uzyskania efektu grzewczego. Hybrydowy system fotowoltaiczny i termiczny jest technologią, która integruje panele fotowoltaiczne i komponenty pobierające ciepło w jednym module [3].

Wielkoskalowe systemy lokalnego ogrzewania wodnego i systemy fotowoltaiczne PVT są najbardziej obiecującymi rozwiązaniami. Niektóre badania dotyczą hybrydowych systemów ogrzewania pomieszczeń, w skład których wchodzi panele PVT i pompy ciepła. Zalety tych systemów polegają na dostarczaniu energii do ogrzewania pomieszczeń w okresie zimowym oraz ciepłej wody użytkowej w innych porach roku i wytwarzaniu energii elektrycznej.

Praca ma na celu analizie systemu grzewczego dla budynków wielorodzinnych opartego na pompie ciepła, ogniwach PVT z systemem nadążnym za słońcem, obrotowych kolektorach słonecznych, magazynie energii ciepłej w gruncie. Zaproponowany system grzewczy będzie w dalszych etapach pracy badany na dwóch instalacjach w Polsce, w budynkach o różniącym się co najmniej dwukrotnie zapotrzebowaniu na energię ciepłą. System ten umożliwia:

- wykorzystanie energii słonecznej jako podstawowego źródła energii odnawialnej,
- wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej za pomocą paneli PVT,

- sezonowy podziemny magazyn ciepła w systemie,
  - dostarczenie ogrzewania i chłodzenia do budynku za pomocą pompy ciepła,
  - dostarczanie energii elektrycznej do budynku poprzez PV,
  - wykorzystanie ciepła odpadowego z inteligentnych kolektorów słonecznych PVT lub słonecznych do regeneracji gruntu,
  - utrzymanie wysokiego współczynnika COP pompy ciepła podczas kolejnych sezonów grzewczych.
- Instalacja wprowadza kilka innowacyjnych rozwiązań jakimi są:
- ponowne wykorzystanie ciepła odpadowego z PVT w połączeniu z podziemnym magazynowaniem energii co pozwala na osiągnięcie wysokiego współczynnika COP pompy ciepła o średniej rocznej ponad 5. Typowe pompy ciepła typu woda/woda mają maksymalny współczynnik COP wynoszący 4. Tak wysoki współczynnik COP umożliwia efektywne podziemne magazynowanie energii, dzięki czemu sprężarka pompy ciepła zużywa 20% mniej energii elektrycznej,
  - opracowanie wysokowydajnej techniki regeneracji gruntu dzięki transferowi ciepła z podziemnego magazynu do gruntu i z odwiertów do gruntu, dzięki czemu współczynnik COP pompy ciepła nie zmniejsza się w kolejnych latach. Jest to w rzeczywistości najbardziej znacząca innowacja tego rozwiązania, która prowadzi do utrzymania stałego współczynnika COP przez lata pracy pompy ciepła. Obecnie na rynku nie ma dostępnych rozwiązań pozwalających na efektywną regenerację gruntu i utrzymanie stałego współczynnika COP pompy ciepła, który z roku na rok obniża wydajność urządzenia,
  - PVT z chłodzeniem i inteligentnym śledzeniem słońca w celu osiągnięcia konwersji energii słonecznej/elektrycznej na poziomie 18% oraz konwersji energii słonecznej/termicznej do 60% w celu zmaksymalizowania wydajności energii odnawialnej.

## Literatura

- [1] Grossi I. i in., *Dynamic modeling and energy performance analysis of an innovative dual-source heat pump system*, “Applied Thermal Engineering” 2018, Vol. 142, pp.745–759.
- [2] Sayegh M. i in., *Heat pump placement, connection and operational modes in European district heating*, “Energy and buildings” 2018, Vol. 166, pp. 122–144.
- [3] Valliati A. i in., *Energy analysis of a thermal system composed by a heat pump coupled with a PVT solar collector*, “Energy” 2019, Vol. 174, pp. 91–96.

# **III SESJA REFERATOWA**

**MASZYNY I URZĄDZENIA  
ENERGETYCZNE – OKIEM STUDENTA**

**POWER MACHINERY AND DEVICES  
– THROUGH A YOUNG EYE**





# STANOWISKO LABORATORYJNE DO BADANIA MINIATUROWEGO SILNIKA TURBOODRZUTOWEGO GTM140

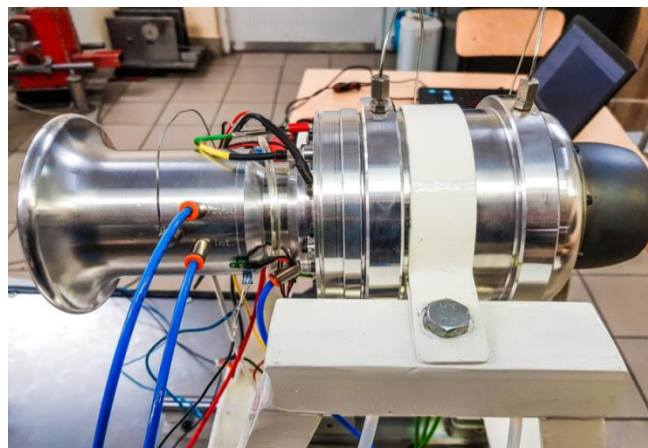
## LABORATORY STATION FOR TESTING MINI TURBOJET ENGINE GTM140

*Lukasz Ptaszek*

*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki*

Silniki turboodrzutowe stanowią podstawę napędu komunikacyjnych układów latających. Poprzednie lata, ze względu na znaczący postęp w tej technologii pozwoliły na zmniejszenie wymiarów tych silników. Miniaturowe silniki turboodrzutowe stosowane są jako napędy modeli latających, stanowią one również dobre obiekty do prowadzenia badań nad tego typu silnikami.

W referacie zostały przedstawione parametry miniaturowego silnika turboodrzutowego GTM140 (rys. 1), który był obiektem badań. Wyszczególniono oraz omówione zostały elementy układu pracy silnika.



Rys. 1. Miniaturowy silnik turboodrzutowy GTM140

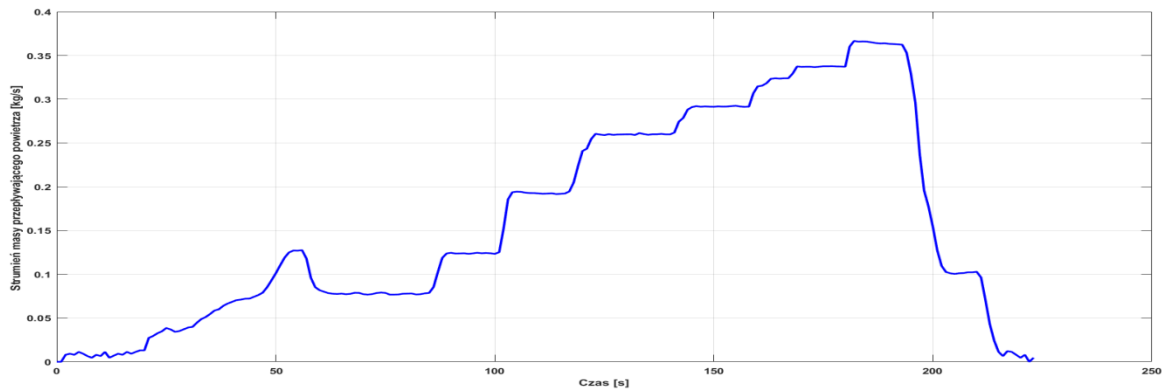
Przedstawiony został projekt kompletnego stanowiska laboratoryjnego z wyszczególnieniem i opisem aparatury pomiarowej umożliwiającej badanie parametrów pracy silnika tj.:

- temperatura i ciśnienie w dwóch punktach pomiarowych tj.: za dyfuzorem sprężarki oraz przed wieńcem dyszowym turbinym,
- strumień masy na wlocie do silnika.

Przeprowadzone badania na stanowisku laboratoryjnym pozwoliły na sporządzenie wykresów pomiarowych oraz wykreślenie charakterystyk prędkościowych silnika tj.:

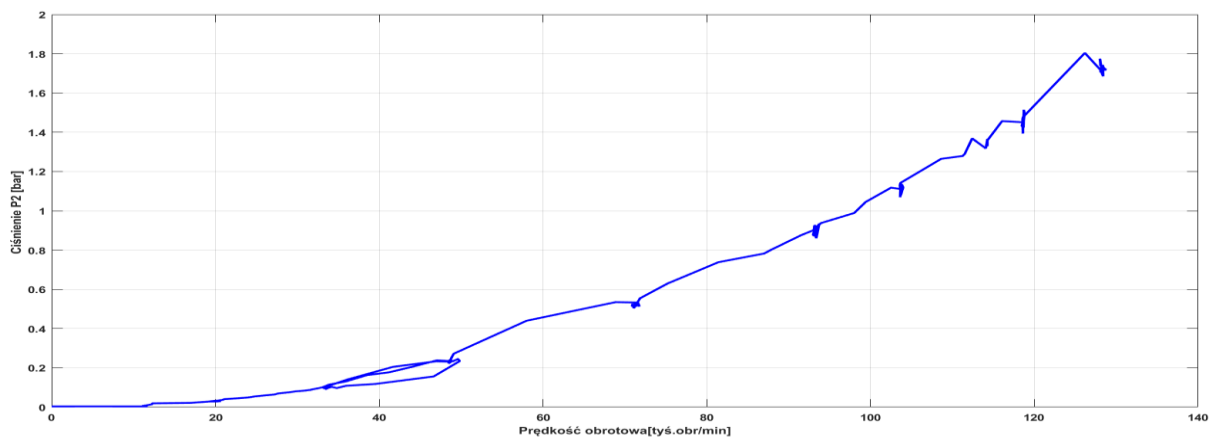
- strumienia przepływającego powietrza w funkcji czasu,
- temperatur i ciśnień w zadanych punktach pomiarowych w funkcji czasu,
- temperatur i ciśnień w zadanych punktach pomiarowych w funkcji prędkości obrotowej.

Wybrane przebiegi przedstawiono na rys. 2 i 3. Na rysunku 2 przedstawiono wykres strumienia masy przepływającego powietrza w funkcji czasu. Maksymalna wartość to 0,36 kg/s dla maksymalnej wartości prędkości obrotowej. Dla prędkości na biegu jałowym wartość osiągnięta to 0,08 kg/s.



Rys. 2. Wykres strumienia masy w funkcji czasu

Na rysunku 3 przedstawiono wykres ciśnienia statycznego za dyfuzorem sprężarki w prędkości obrotowej. Maksymalna wartość ciśnienia to 1,85 bar. Dla prędkości biegu jałowego wartość osiągnięta to 0,1 bar. Pomiar był dokonywany względem ciśnienia otoczenia. Dla całego zakresu wykres przyjmuje zbliżoną postać do funkcji wykładniczej.



Rys. 3. Wykres ciśnienia statycznego za dyfuzorem sprężarki w funkcji czasu

## Literatura

- [1] Balicki W., Chachurski R., Głowacki P., Godzimirski J., Kowalec K., Kozakiewicz A., Pągowski Z., Rowiński A., Szczeciński J., Szczeciński S., *Lotnicze silniki turbinowe. Konstrukcja – eksploatacja – diagnostyka. Część I*, „BNIL” Warszawa 2010.
- [2] Gieras M., *Miniaturowe silniki turbodrzutowe*, „Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej”, Warszawa 2018.
- [3] Dzierżanowski P., Kordziński W., Łyżwiński M., Otyś J., Szczeciński S., Wiatrek R., *Turbinowe silniki odrzutowe*, „WKiŁ”, Warszawa 1983.

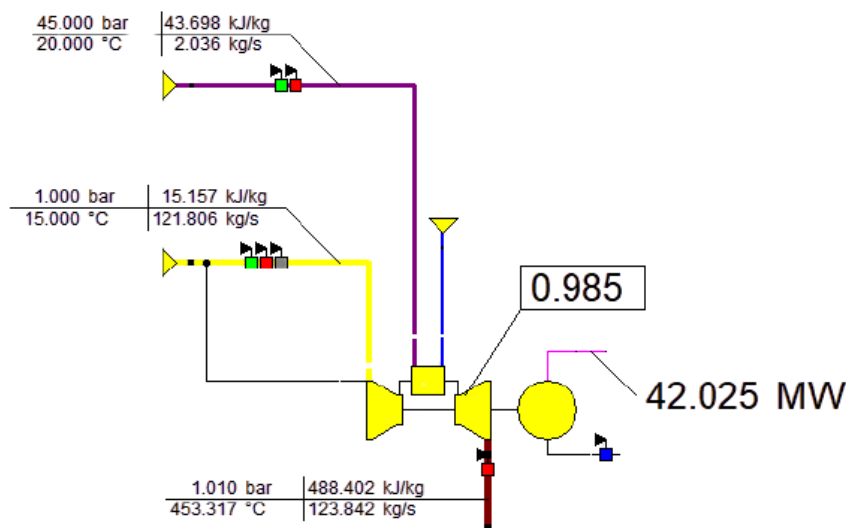
# OCENA MOŻLIWOŚCI WSPÓŁSPALANIA WODORU W TURBINACH DUŻEJ MOCY Z WYKORZYSTANIEM MODELOWANIA TERMODYNAMICZNEGO

## POSSIBILITY ASSESSMENT OF HYDROGEN COFIRING OF THE HIGH-EFFICIENCY GAS TURBINE USING THERMODYNAMIC MODELING

*Martyna Rojczyk*

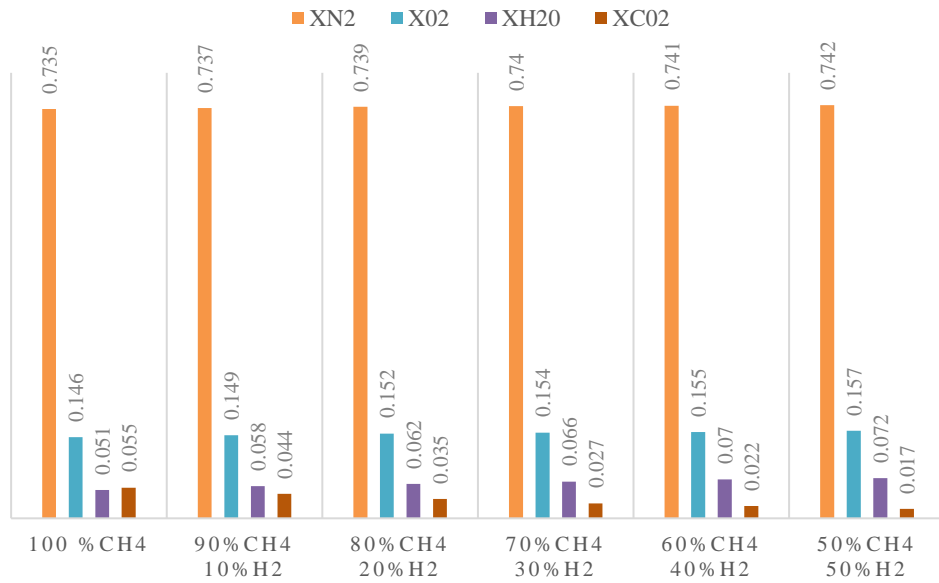
*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki*

Rosnące potrzeby energetyczne oraz wyczerpywanie zasobów paliw organicznych są głównymi impulsami napędzającymi przemysł energetyczny na świecie. Poszukiwanie nowych rozwiązań skłania do analizy i oceny wykorzystania nowych nośników energii w tym mieszaniny wodoru i metanu. Na ich zastosowanie wpływa m.in. wysoka wartość opałowa oraz obniżona emisja gazów cieplarnianych.



Rys. 1. Układ turbiny gazowej zamodelowany w programie Epsilon Professional

W pracy zostanie przeprowadzona ocena współspalania wodoru na parametry termodynamiczne i emisyjne na podstawie działania rzeczywistej turbiny gazowej LM6000PF. Paliwo wprowadzane do turbiny jest mieszaniną gazu ziemnego i wodoru w odpowiednio zmieniających się proporcjach. Układ turbiny gazowej został zaprojektowany w programie Epsilon Professional (rys. 1). Zasada działania opiera się na teoretycznym obiegu Joule’a–Braytona i jest następująca: do komory spalania dostarczane jest sprężone powietrze i czynnik roboczy o odpowiednich parametrach. W wyniku procesu spalania dochodzi do wytworzenia energii kinetycznej z energii chemicznej. Następnie produkty spalania o odpowiedniej prędkości kierowane są przewodami do turbiny gazowej. Czynnik napiera na łopatki turbiny i generuje siłę, która prowadzi do powstania momentu obrotowego na wale (energia kinetyczna zamienia się na energię mechaniczną). W wyniku zachodzącego procesu praca zestawu (nadmiar energii) jest oddawany do generatora (energia mechaniczna → energia elektryczna). Część energii jest przekazywana do sprężarki – praca napędu.



Rys. 2. Emisja spalin dla paliwa zrównoważonego energetycznie przy przepływie powietrza 100 kg/s

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że przy niewielkim spadku sprawności ekspandera gazowego możemy obniżyć zawartości dwutlenku węgla w spalinach o 3,8% (rys. 2). Pomimo zmiany udziałów metanu i wodoru poziom generowanej mocy na zaciskach generatora oraz sprawność komory gazowej mogą być utrzymane na stałym poziomie.

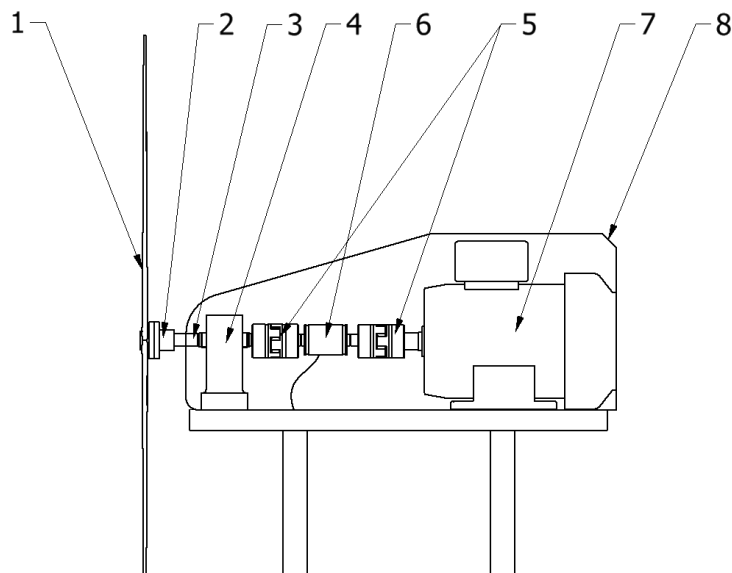
# PROJEKT STANOWISKA POMIAROWEGO DLA TURBINY WIATROWEJ O POZIOMEJ OSI OBROTU

## DESIGN OF A MEASURING STAND FOR A HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE

*Weronika Świat, Joanna Zdonek*  
*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Wykonano projekt stanowiska pomiarowego służącego do badania parametrów turbiny wiatrowej o poziomej osi obrotu. Na stanowisku można badać wimiki o średnicy do 1 m. Wiatr powodujący obrót wimika generowany jest przez zespół wentylatorów, tworzących powierzchnię ok. 9 m<sup>2</sup>. Oś wimika znajduje się w połowie wysokości zespołu wentylatorów. Sam wimik mocowany jest za pomocą kołnierza do wału podtrzymywanego na łożyskach. Wał ten połączony jest za pomocą sprzęgła z momentomierzem, dzięki któremu możliwe jest zmierzenie wartości momentu obrotowego, jak również prędkości obrotowej wału. Prąd generowany jest za pomocą 3-fazowej synchronicznej prądnicy z magnesami trwałymi. Cały ten układ znajduje się w gondoli wydrukowanej w technologii druku 3D. Funkcję obciążenia w układzie pełni obciążenie prądnicy w postaci opornika dekadowego. Opornik oraz miernik elektryczny znajdują się poza gondolą.

Na stanowisku pomiarowym można ocenić efektywność konwersji energii wiatru na energię mechaniczną i elektryczną. Będzie ono wykorzystywane do badania wimików konstruowanych przez studentów.



Rys. 1. Schemat gondoli stanowiska pomiarowego (1 – wimik, 2 – łącznik wimika, 3 – wał, 4 – oprawa łożysk, 5 – sprzęgła, 6 – czujnik momentu obrotowego, 7 – prądnica, 8 – obudowa gondoli)

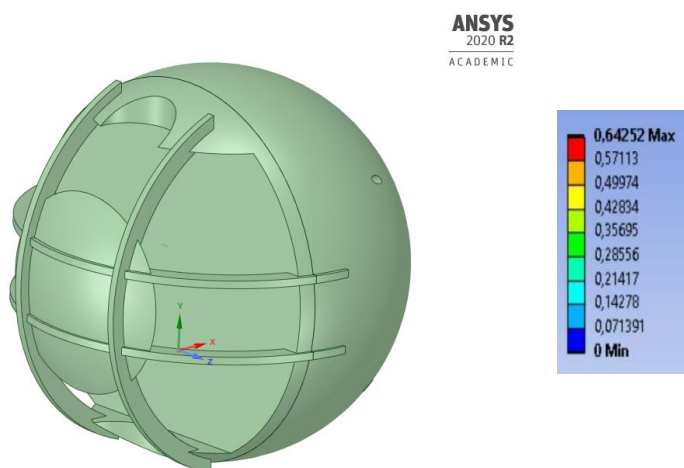
# OPRACOWANIE OBUDOWY AKUMULATORA DZIAŁAJĄCEGO W SYSTEMIE OFF-GRID PRZYSTOSOWANEGO DO PRACY W EKSTREMALNYCH WARUNKACH TEMPERATUROWYCH

## PROJECT OF A BATTERY HOUSING DEDICATED TO AN OFF-GRID POWER SYSTEM AND AN EXTREME TEMPERATURE CONDITIONS

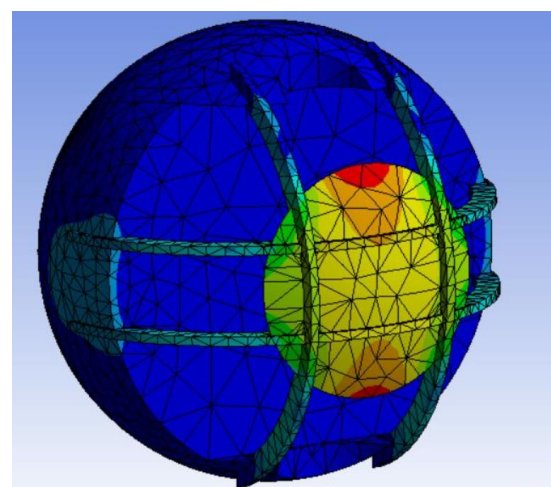
*Filip Bienek, Mateusz Wiciak, Wojciech Sulkowski, Ida Wilczek, Anna Granieczny, Adam Miliński  
 Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki*

Celem projektu jest opracowanie odpornej na niekorzystne warunki temperaturowe, innowacyjnej obudowy akumulatora solarnej lampy użytkowanej w systemie off-grid. Takie rozwiązanie może mieć również zastosowanie dla wiaty przystankowej, ławki solarnej, czy przenośnych systemów zasilania do zastosowań w np. turystyce ekstremalnej. Instalacja wyspowa, najczęściej spotykana, składa się z akumulatora, panelu LED, panelu fotowoltaicznego i sterownika.

Projekt prowadzony jest w koncepcji multidyscyplinarnej składającej się z następujących etapów: analiza materiałowa, analiza termiczna, analiza wytrzymałościowa. Dobór materiału pod względem własności funkcjonalno-użytkowych, przebiegał na zasadzie porównania własności i właściwości mechanicznych grupy materiałów sztucznych. Początkową czynnością przy doborze materiału inżynierskiego było wytypowanie szeregu skonkretyzowanych kryteriów, które pozwoliły na zawężenie grupy materiałów sztucznych do rodziny polimerów. W oprogramowaniu Matlab Simulink zostały przeprowadzone symulacje dla różnego typu akumulatorów. Pozwoliło to na wytypowanie akumulatora litowo-jonowego, który został użyty do badań w dalszych etapach projektu. Wyniki symulacji w postaci mapy cieplnej akumulatora, zostały zaimplementowane jako warunki brzegowe do analizy w programie Ansys Fluent. Analiza ta pozwoli na uzyskanie odpowiedzi, jakie warunki zewnętrzne należy zapewnić, aby utrzymać temperaturę pracy akumulatora, na poziomie który zapewni najbardziej odpowiednie warunki użytkowania.



Rys. 1. Koncepcja obudowy akumulatora



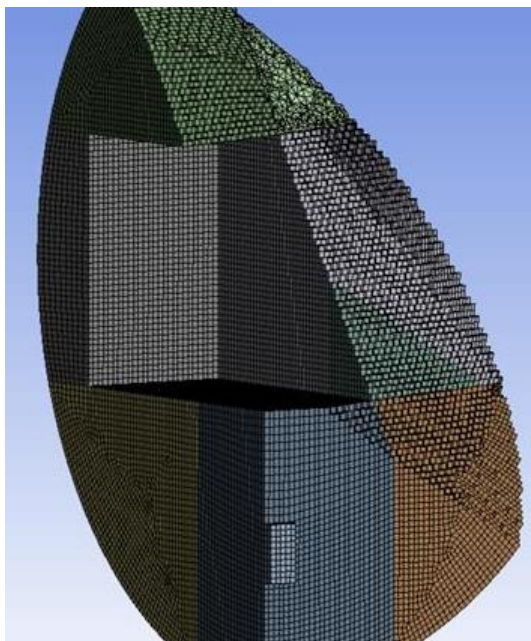
Rys. 2. Rozkład całkowitego odkształcenia modelu obudowy akumulatora, mm

Koncepcja obudowy została zamodelowana w środowisku Ansys Mechanical (rys. 1). Umożliwiło to przeprowadzenie badań pod względem analizy wytrzymałościowej (rys. 2). Badania MES pozwoliły na

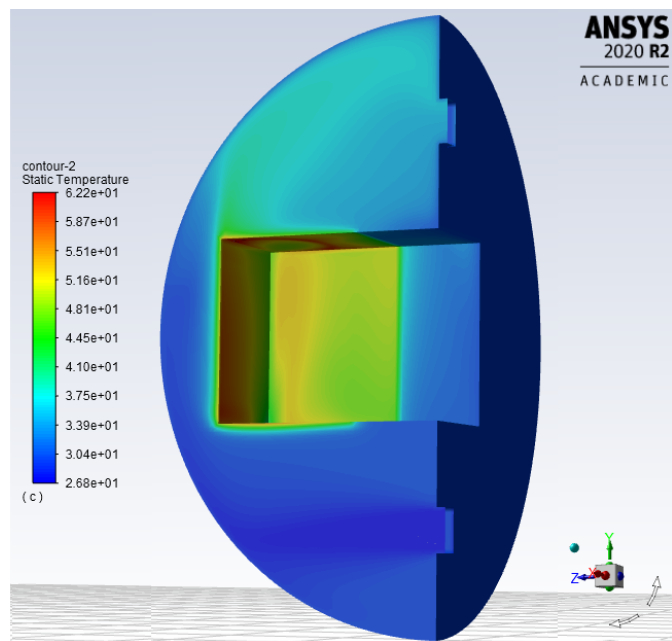


uzyskanie rozkładów odkształceń, zredukowanych naprężeń, a także sił działających na obudowę od strony wewnętrznej (mocowanie akumulatora) oraz zewnętrznej (działanie środowiska i mocowanie na maszcie lampy). Takie działanie pozwala uniknąć zastosowania nieprawidłowego rozwiązania konstrukcyjnego oraz utwierdzić w przekonaniu, że wybrana grupa materiałów faktycznie podoła planowanej aplikacji. W tym etapie brane są również pod uwagę dodatkowe obciążenia w postaci, np. zalegającego na powierzchni obudowy śniegu. Projekt przejawia się innowacyjnością w wykorzystaniu materiałów, które nie są używane do tego typu rozwiązań. Dodatkowo wprowadzenie materiałów pozyskiwanych w procesie recyklingu daje możliwość stworzenia obudowy przyjaznej środowisku. Wykonanie z jednorodnego materiału ułatwia proces powtórnej przeróbki. Z kolei przemyślane rozwiązania konstruktorskie zapewniają oszczędność czasu podczas montażu oraz łatwość obsługi obudowy.

Po opracowaniu koncepcji obudowy przebadano ją pod względem cieplnym przy wykorzystaniu CFD. Wygenerowano siatkę składającą się z 481 278 elementów strukturalnych (rys. 3). Wykonane obliczenia pozwoliły na weryfikację poprawności analiz termicznych oraz określenie wstępnych parametrów procesu (rys. 4). Na podstawie temperaturowych warunków brzegowych zostały przeprowadzone wstępne obliczenia w oparciu o kontrolę wrażliwości układu, która polegała na monitorowaniu określonych punktów w powietrzu otaczającym akumulator, w miejscach szczególnie narażonych na niestabilność parametrów. Symulacje warunków panujących w obudowie pozwoliły na stworzenie macierzy rozwiązań, które posłużą do wykreowania sieci neuronowej. To z kolei będzie podstawą do poznania szerokiego spektrum, w którym będzie mógł się znaleźć analizowany układ i natychniastowej odpowiedzi o warunkach panujących wokół akumulatora dla różnego jego obciążenia oraz różnej temperatury otoczenia.



Rys. 3. Strukturalna siatka numeryczna – wycinek



Rys. 3. Wyniki analizy CFD dla przykładowych warunków:  
 temperatura otoczenia 30°C i  $q = 92 \text{ W/m}^2$

### Finansowanie

Badania współfinansowane przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach projektu „Politechnika Śląska jako Centrum Nowoczesnego Kształcenia opartego o badania i innowacje” nr POWR-03.05.00-00-Z098/17/00.



## WPŁYW PROCESU PRZETAPIANIA NA MIKROSTRUKTURĘ POWŁOK Ni-Cr-Re NATRYSKIWANYCH PLAZMOWO

### INFLUENCE OF REMELTING PROCESS ON MICROSTRUCTURE OF Ni-Cr-Re PLASMA SPRAYED COATINGS

*Justyna Kurzeja*

*Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej*

Praca zawiera charakterystykę powłok ochronnych stosowanych w energetyce ze wskazaniem na powłoki Ni-Cr-Re.

Elementy maszyn energetycznych takie jak łopatki turbin, rury kotłowe, podgrzewacze eksploatowane są w bardzo wymagających warunkach. Wysokie temperatury, zmienne obciążenia, popioły oraz atmosfery zawierające związki powodujące korozję stawiają wysokie wymagania materiałom. Bezwzględny warunkiem jest zatem odporność na korozję wysokotemperaturową oraz odporność na pełzanie w wysokich temperaturach. Takie właściwości zapewniają między innymi stopy niklu z chromem, które są w tym sektorze gospodarki powszechnie wykorzystywane. W szczególnych przypadkach wymagana jest odporność abrazyjna i możliwość pracy pod wysokim ciśnieniem (np. elementy zasuwki ciśnieniowej). W tym przypadku używane są stally.

Wspomniane materiały są jednak kosztowne. Rozwiązaniem tego problemu jest wykorzystywanie ich w postaci powłok ochronnych natrykiwanych na podłoże. Jednak w wielu przypadkach, aby powłoka spełniała warunek przyczepności czy twardości, musi być odpowiednio zmodyfikowana.

W pracy scharakteryzowano metodę nanoszenia oraz modyfikacji powłok. Zbadano wpływ procesu przetapiania laserowego na mikrostrukturę powłok niklowo-chromowo-renowych natrykiwanych cieplnie.

Badania przeprowadzono na jednej próbce natrykiwanej i nieprzetapianej oraz na czterech poddanych procesowi przetapiania przy różnych parametrach prędkości wiązki laserowej oraz mocy. Proces przetapiania został wykonany w trzech ściegach. W celu określenia różnic pomiędzy poszczególnymi powłokami dokonano oględzin makroskopowych. Wykonano także badania mikroskopowe za pomocą metalograficznego mikroskopu świetlnego, które pozwoliły zidentyfikować mikrostrukturę przetopień. Użyto skaningowego mikroskopu elektronowego oraz wykonano analizę EDS w celu zbadania różnic składu chemicznego w mikrostrukturze (w dendrytach oraz przestrzeniach międzydendrytycznych). Wykonano również badania twardości poszczególnych próbek.

#### **Podziękowania**

Praca została wykonana w ramach projektu finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie umowy numer UMO-2018/29/B/ST8/01206.

# **IV SESJA REFERATOWA**

**PALIWA ORAZ TECHNOLOGIE  
ALTERNATYWNE – OKIEM STUDENTA**

**ALTERNATIVE FUELS  
AND POWER TECHNOLOGIES  
– THROUGH A YOUNG EYE**



# OPTYMALIZACJA PROCESU PELETYZACJI FUSÓW PO PARZENIU KAWY JAKO WALORYZACJA NISKOGATUNKOWEJ BIOMASY ODPADOWEJ NACELE ENERGETYCZNE

## OPTIMIZATION OF PELLETIZING PROCESS OF SPENT COFFEE GROUNDS AS A METHOD OF VALORIZATION OF LOW QUALITY BIOMASS RESIDUE FOR ENERGY PURPOSES

*Anna Waloszyńska<sup>1</sup>, Krzysztof Mościcki<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny*

*<sup>2</sup>Politechnika Wroclawska, Katedra Mechaniki, Maszyn, Urządzeń i Procesów Energetycznych*

Biomasa jest popularnym źródłem energii odnawialnej, zwłaszcza biorąc pod uwagę użyteczność dopasowanych do specyfiki biomasy urządzeń i technologii pomocnych w zagospodarowaniu powstających w różnych gałęziach przemysłu czy rolnictwa bioodpadów. Zainteresowanie energią ze źródeł odnawialnych w polskiej energetyce wciąż rośnie, co ma związek ze strategią przyjętą w Polityce Energetycznej Polski do 2040 roku [1]. Zgodnie ze wspomnianym dokumentem, do 2030 roku udział OZE ma stanowić nie mniej niż 23 procent w końcowym zużyciu energii w Polsce, zakłada się również wzrost znaczenia między innymi biomasy w ciepłownictwie systemowym.

W samym tylko 2018 roku na całym świecie skonsumowano ponad 10 milionów ton kawy, co generuje bardzo dużą ilość materiału odpadowego, który winien być zagospodarowany [2]. Fusy po parzeniu kawy wykorzystywane są między innymi do produkcji biopaliw, poddaje się je spalaniu w formie brykietów i gazyfikacji, magazynuje w nich paliwo. Sposobom konwersji fusów poświęcono wiele badań, które wykazują ich potencjał jako biomasy odpadowej wykorzystywanej w celach energetycznych [3].

Celem eksperymentów przeprowadzonych w skali laboratoryjnej i przy użyciu peletarki małej skali było uzyskanie peletów z fusów po parzeniu kawy, poddanych odpowiedniej obróbce. Pelety te miały być jak najwyższej jakości, przy maksymalnie wysokiej wilgotności materiału podlegającego peletyzacji. Badania miały na celu peletyzację fusów w taki sposób, by ograniczyć ilość wykorzystywanego lepiszcza i zminimalizować energię zużywaną na suszenie fusów.

Proces peletyzacji prowadzono na mieszankach fusów z różnymi lepiszczami, o różnych stosunkach paliwa do lepiszcza i przy różnej wilgotności początkowej mieszanek. Wyznaczono zawartość wilgoci w wykorzystanych materiałach i peletów, obliczono gęstość peletów, ich gęstość nasypową i sprawność peletyzacji.

Wyniki badań wskazują na potencjał fusów po parzeniu kawy do przeprowadzania peletyzacji i wykorzystania otrzymanych peletów na cele energetyczne, a także na możliwość optymalizacji procesu peletyzacji, zwłaszcza biorąc pod uwagę wyniki obliczeń i porównanie własności peletów powstałych podczas różnych procesów.

Powtórne wykorzystanie fusów po parzeniu kawy to stosunkowo nowy trend, jednak już teraz funkcjonuje z powodzeniem wiele przedsiębiorstw, w których opracowane technologie pozwalają na wykorzystanie odpadu do produkcji energii. Wszystko wskazuje na to, że dostępne rozwiązania będą w przyszłości udoskonalane i rozwijane, a optymalizacja procesów związanych z przetwarzaniem fusów będzie miała duże znaczenie dla ich wydajności i opłacalności.

---

## Literatura

- [1] Ministerstwo Klimatu, *Polityka energetyczna Polski do 2040 r. – streszczenie*, <https://www.gov.pl/web/klimat/projekt-polityki-energetycznej-polski-do-2040-r>. (dostęp: 02.11.2020).
- [2] International Coffee Organization, *Coffee Market Report September 2020*, <http://www.ico.org/documents/cy2019-20/cmr-0920-e.pdf> (dostęp: 02.11.2020).
- [3] Luz F.C., Cordiner S., Manni A., Mulone V., Rocco V., *Anaerobic Digestion of Liquid Fraction Coffee Grounds at Laboratory Scale: Evaluation of the Biogas Yield*, “Energy Procedia” 2017, Vol. 105, pp. 1096–1101.

## PRAŻENIE I WSPÓLPRAŻENIE ZBOŻA NA CELE BROWARNICZE

### ROASTING AND CO-ROASTING OF GRAIN FOR BREWERY PURPOSES

*Bartosz Pałka<sup>1</sup>, Krzysztof Mościcki<sup>2</sup>, Mateusz Jackowski<sup>3</sup>*

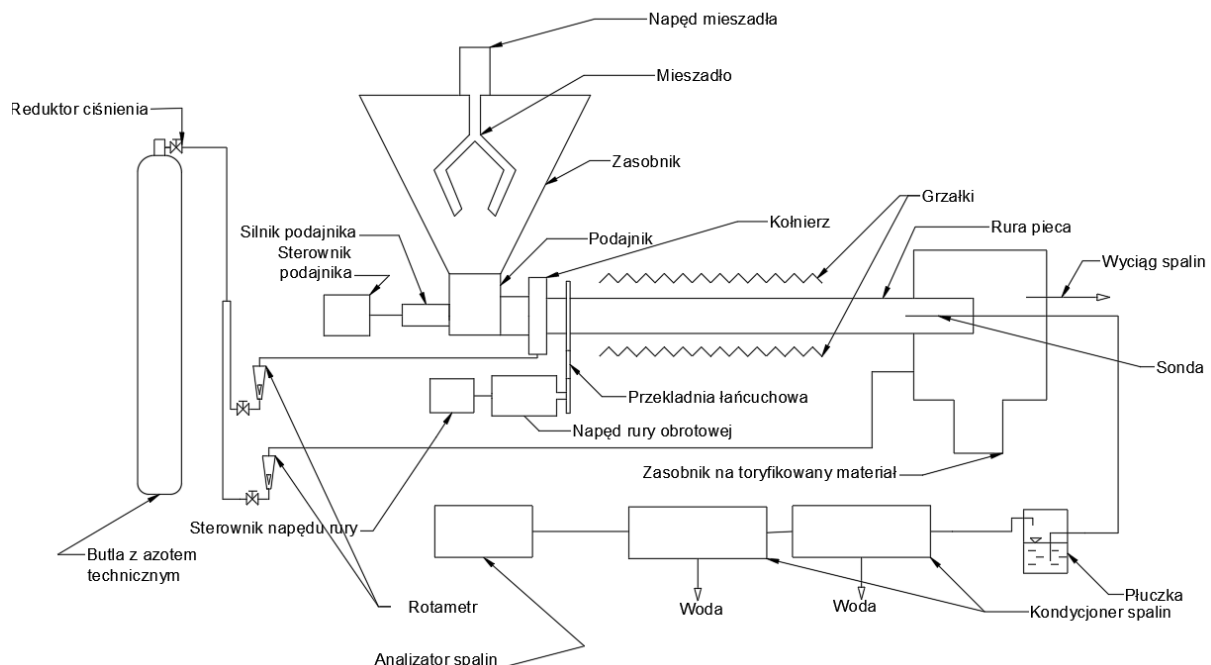
<sup>1</sup>*Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny*

<sup>2</sup>*Politechnika Wroclawska, Katedra Mechaniki, Maszyn, Urządzeń i Procesów Energetycznych*

<sup>3</sup>*Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Bioprocessowej, Mikro i Nanoinżynierii*

Obecnie z powodu polityki klimatycznej UE oraz kosztów środowiskowych spalania stałych paliw kopalnych obserwuje się trend odchodzenia od węgla. Będzie on prawdopodobnie w kolejnych latach przybierał na sile napędzany polityką Nowego Zielonego Ładu. Naturalny w takiej sytuacji wydaje się znaczny wzrost znaczenia paliw gazowych oraz odnawialnych źródeł energii. Jedną z form odnawialnej energii szczególnie istotną z punktu widzenia Polski, której znaczny obszar stanowią lasy oraz tereny rolnicze, jest energia słoneczna związana chemicznie w postaci biomasy.

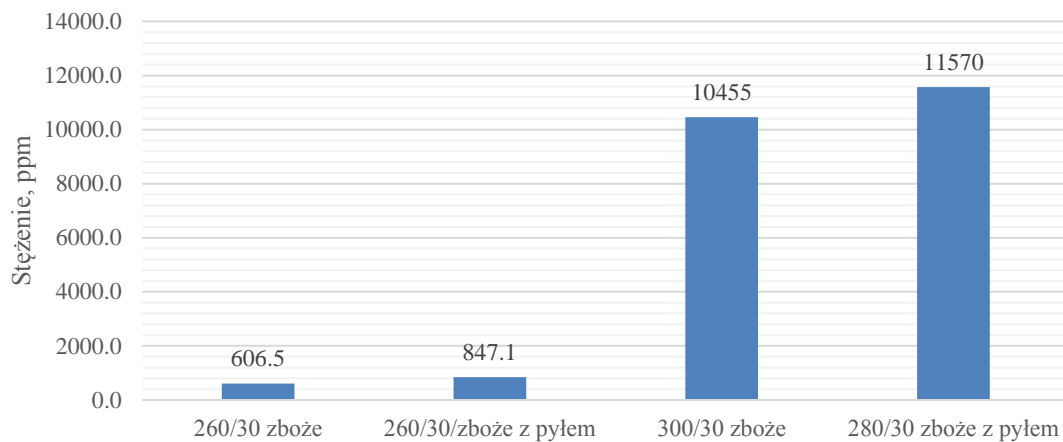
Biomasa to ulegające biodegradacji produkty, odpady lub pozostałości pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego pochodzące z rolnictwa, leśnictwa lub innych gałęzi gospodarki. W porównaniu z innymi rodzajami odnawialnej energii, stosunkowo łatwe jest jej przechowywanie i wykorzystanie we właściwym momencie, dzięki czemu jej duży udział w miksie nie stanowi zagrożenia dla stabilności systemu elektroenergetycznego. Dodatkowo po przetworzeniu do wysokogatunkowych biopaliw stałych, ciekłych lub gazowych, ekonomicznie uzasadnione staje się jej wykorzystanie z dala od miejsca pozyskania [1].



Rys. 1. Schemat stanowiska

W wyniku przeprowadzenia doświadczeń udało się zbadać zarówno powstający torgaz jak i produkt stały. Tak jak przewidywano, gaz pochodzący z współprażenia był bogatszy w składniki palne. Dodatkowo analiza techniczna materiału stałego sugeruje mocniejsze wyprażenie zboża współprażonego z pyłem od zboża prażonego bez dodatków, wskazując na istnienie efektu synergii.

### Stężenie CO w poszczególnych próbach



Rys. 2. Zestawienie średniego udziału CO w torgazie dla wszystkich prób

### Literatura

- [1] Burczyk B., *Biomasa. Surowiec do syntez chemicznych i produkcji paliw*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011.
- [2] Uslu A., Faaij A.P.C., Bergman P.C.A., *Pre-treatment technologies, and their effect on international bioenergy supply chain logistics. Techno-economic evaluation of torrefaction, fast pyrolysis and pelletisation*, “Energy” 2018, Vol. 33, pp. 1206–1223.



# BARWNIKOWE MIKROOGNIWA FOTOWOLTAICZNE

## MICRO DYE-SENSITISED SOLAR CELL

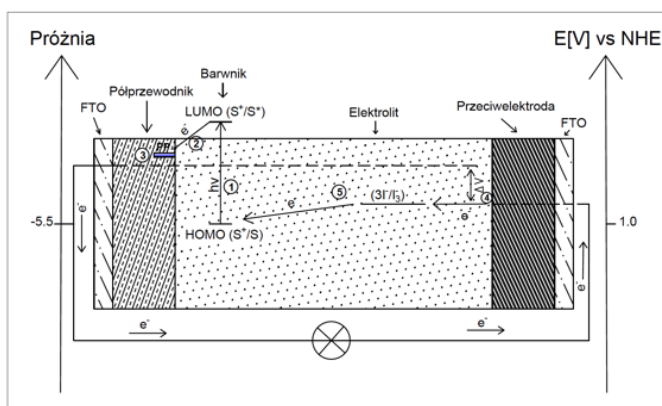
Mikita Davykoza<sup>1</sup>, Roman Szafran<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny, Koło Naukowe Gambrinus,

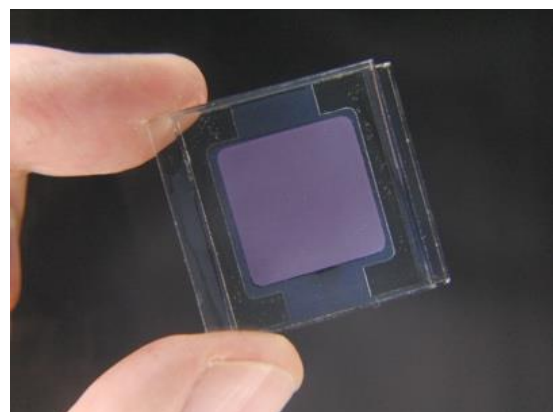
<sup>2</sup>Politechnika Wroclawska, Katedra Biochemii, Biologii Molekularnej i Biotechnologii

W pracy zostaną zaprezentowane wyniki badań nad opracowaniem fotowoltaicznych ogniw barwnikowych (ang. *dye-sensitized solar cell* – DSSC) wykorzystujących jako sensybilizatory barwniki pochodzenia naturalnego. Badania miały na celu opracowanie nowej konstrukcji mikroogniw ze zredukowanymi oporami transportu masy w obrębie ciekłego elektrolitu oraz umożliwiającą regenerację barwników uczulających bez konieczności ingerencji w konstrukcję układu. Rozwiązanie powyższych problemów stanowi milowy krok na drodze komercjalizacji ogniw DSSC. Dzięki prostemu powieleniu liczby ogniw, możliwe jest skonstruowanie paneli fotowoltaicznych dużej mocy, przy zachowaniu efektywności i trwałości równej pojedynczemu układowi.

Mechanizm pracy wszystkich ogniw fotowoltaicznych polega na wychwytywaniu fotonu pochodzącego z promieniowania słonecznego poprzez jego absorpcję na warstwie fotoczułej, a następnie przeniesienie elektronu [1]. W ogniwach DSSC za te czynności odpowiadają różne powłoki. Zasada działania ogniwa została zilustrowana na rys. 1. Warstwa półprzewodnika pełni funkcję przenośnika elektronów (3), natomiast barwnik zaadsorbowany w porowatej strukturze nano-TiO<sub>2</sub> jest odpowiedzialny za absorpcję fotonu. Na podstawie widma absorpcji promieniowania poszczególnych barwników można określić maksimum długości fali, przy której proces będzie zachodził najskuteczniej (rys. 4), przy czym jedynie foton o energii wystarczającej do wzbudzenia cząsteczki barwnika (od poziomu HOMO do LUMO) zostanie zaabsorbowany (1). Przy wzbudzeniu cząsteczki barwnika tworzy się para elektron-dziura (ekscyton). Elektron z najwyższego obsadzonego orbitalu molekularnego barwnika wędruje do najniższej obsadzonego (LUMO), gdzie przechodzi do pasma przewodnictwa (PP) tlenku tytanu (2). Powstała dziura natomiast pozostaje w paśmie HOMO i odbierana jest przez zredukowaną formę układu redoks pochodzącego z elektrolitu (5) [2]. Utleniony elektrolit/mediator (I<sub>3</sub><sup>-</sup>) dyfunduje do katody (Pt), gdzie jest zredukowany (4) [3]. Proces jest cykliczny przy zamkniętym obiegu ładunków. Trwałość i sprawność ogniw są ograniczone ze względu na wrażliwość wykorzystywanych barwników na promieniowanie UV oraz opory transportu masy w obrębie ciekłego elektrolitu.



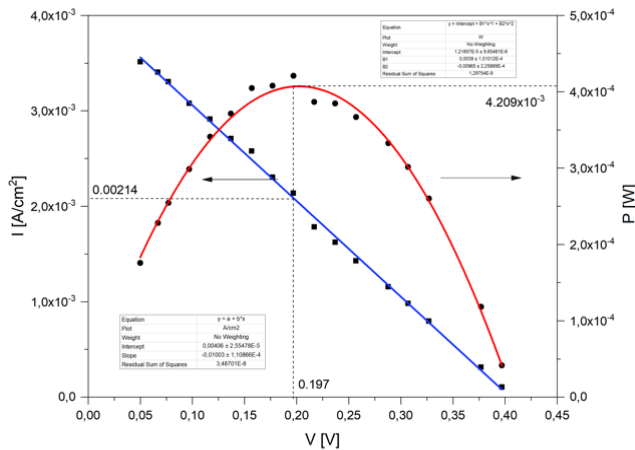
Rys. 1. Budowa oraz zasada działania ogniwa DSSC



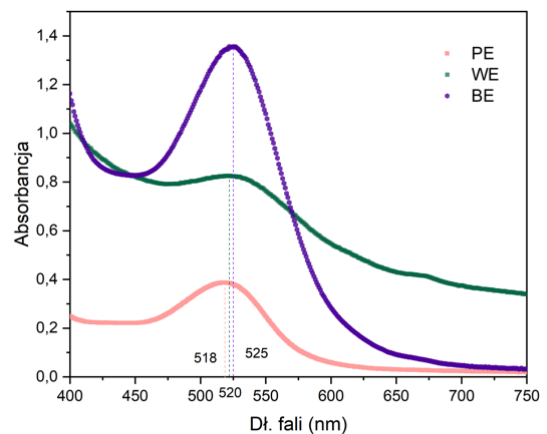
Rys. 2. Opracowane i skonstruowane mikroogniwo DSSC

Najnowszym rozwiązaniem konstrukcyjnym redukującym w/w problemy są mikrofluidalne (przepływowe) ogniwa słoneczne, które umożliwiają regenerację barwnika oraz redukują opory transportu masy w obszarze elektrolitu dzięki wymuszeniu konwekcyjnego przepływu elektrolitu w mikrokanalach.

W trakcie badań laboratoryjnych zostały określone pasma absorpcji naturalnych barwników w zależności od użytego rozpuszczalnika (rys. 4). Sporządzono charakterystyki prądowo-napięciowe dla otrzymanych ogniw oraz wyznaczona została na ich podstawie sprawność poszczególnych ogniw słonecznych (rys. 3). W ramach badań zaprojektowano i wykonano mikroogniwa DSSC na bazie naturalnych sensybilizatorów pochodzenia roślinnego (rys. 2). Badania spektrofotometryczne wykazały najwyższą absorbancję światła dla borówki ekstrahowanej alkoholem metylowym lub etanolem przy długości fali 520 nm. Ponadto badania przeprowadzono na: malinie, czarnej porzeczce oraz czarnej jagodzie. Sprawność otrzymanych ogniw wynosiła  $\eta = 0.52\%$  przy współczynniku wypełnienia równym 0,30 (sensybilizator czarnej porzeczki).



Rys. 3. Charakterystyka I–V dla sensybilizatora z czarnej porzeczki ekstrahowanej etanolem



Rys. 3. Widmo absorpcji światła barwnika z porzeczki czerwonej (PE), winogrona ciemnego (WE), borówki amerykańskiej (BE) ekstrahowanych etanolem

## Literatura

- [1] Sharma K., Sharma V., Sharma S.S., *Dye-Sensitized Solar Cells: Fundamentals and Current Status*, “Nanoscale Res. Lett.” 2018, Vol. 13, No. 1, pp. 381, doi: 10.1186/s11671-018-2760-6.
- [2] Zarebska K., *Wytwarzanie i badanie układów hybrydowych do zastosowania w ogniwach słonecznych z półprzewodnikowym materiałem uczulającym*, Uniwersytet Warszawski 2015, s. 1–210.
- [3] O’Regan B., Grätzel M., *A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films*, “Nature” 1991, Vol. 353, 6346, pp. 737–740, doi: 10.1038/353737a0.

# PROJEKT AUTONOMICZNEJ ENERGETYCZNIE ŁODZI SOLARNEJ WYPOSAŻONEJ W HYDROSKRZYDŁA PROJECT OF AN ENERGETICALLY AUTONOMOUS SOLAR BOAT EQUIPPED WITH HYDROFOILS

*Robert Placzek, Adrian Banachowicz*

*Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Koło Naukowe PWr Solar Boat Team*

Postępujący w ostatnich latach na świecie rozwój społeczno-gospodarczy skutkuje podejmowaniem projektów badawczo-rozwojowych oraz związanych z nimi prac komercjalizacyjnych, których zadaniem jest wprowadzenie na rynek nowych, konkurencyjnych względem powszechnie do tej pory stosowanych rozwiązań technicznych. Jednym z aspektów branych pod uwagę przez projektantów w ramach ww. działań jest ekologiczność opracowywanych technologii - w ujęciu całego cyklu życia produktu.

Jedną z tych dziedzin techniki, w której upatruje się w ostatnich latach znacznego potencjału w ograniczaniu szkodliwego wpływu na środowisko naturalne, jest transport. Z uwagi na systematyczny rozwój tego sektora oraz wprowadzane równoległe do niego standardy proekologiczne, niezbędne staje się zwrócenie szczególnej uwagi na problemy emisji związków szkodliwych podczas eksploatacji różnych pojazdów – drogowych, powietrznych, wodnych. Konieczność ograniczenia wspomnianego procederu przyczynia się m.in. do coraz to większego udziału, w przypadku stosowanych napędów, technologii energetycznych pośrednio lub bezpośrednio wykorzystujących odnawialne źródła energii.

W ostatnim czasie można zaobserwować przede wszystkim rosnącą popularność wspomnianych rozwiązań w przypadku transportu kołowego (biopaliwa, napędy elektryczne, napędy wodorowe). Wciąż jednak relatywnie niewiele nowych projektów implementowanych jest w obrębie transportu wodnego, w szczególności w żegludze morskiej bliskiego zasięgu oraz żegludze obejmującej wody śródlądowe, które to posiadają ku temu znaczny potencjał techniczny. Postawić można tezę, iż małe jednostki pływające dedykowane lokalnej żegludze rzecznej stanowić mogą istotny element polityki ograniczania niskiej emisji oraz ograniczania negatywnego wpływu silników spalinowych stosowanych w transporcie na otoczenie człowieka.



Rys. 1. Wizualizacja autonomicznej energetycznie wyścigowej łodzi solarnej wyposażonej w hydroskrzydła, zaprojektowanej i budowanej przez KN PWr Solar Boat Team

W trakcie prezentacji zostaną przedstawione najważniejsze punkty koncepcji budowy autonomicznej energetycznie – dzięki skojarzonym z jej kadłubem ogniwoom fotowoltaicznym oraz systemowi magazynowania i przetwarzania znajdującemu się wewnątrz kadłuba wyścigowej łodzi solarnej. Stanowi on obecnie wiodący projekt realizowany przez członków Koła Naukowego PWr Solar Boat Team, działającego nieprzerwanie od marca 2018 roku na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej. Podjęte wyzwanie

badawcze wpisuje się w przywołany trend zmian zachodzących we współczesnym transporcie. Co więcej, pierwotnie wyścigowy charakter opisywanego rozwiązania ewoluować docelowo ma w najbliższych latach w rozwiązanie związane z funkcjonowaniem transportu miejskiego.

Obecny projekt zakłada budowę 6-metrowej łodzi będącej w stanie osiągnąć prędkość maksymalną na poziomie 40 km/h, dzięki zainstalowanym ogniwom fotowoltaicznym o sumarycznej powierzchni czynnej wynoszącej 5,98 m<sup>2</sup> oraz bezszczotkowemu silnikowi elektrycznemu o mocy 5,3 kW. Do komunikacji między każdym modułem na pokładzie zostanie wykorzystana magistrala CAN. Innowacyjnym rozwiązaniem jest specjalny system sterowania trójosiowego, opracowany przez członków zespołu, mający na celu dokładną kontrolę położenia łodzi w fazie lotu. Na rys. 1 przedstawiono wizualizację łodzi.

W prezentacji przedstawiono najważniejsze założenia projektowe łodzi oraz omówiono dotychczasowe prace badawcze poprzedzające jej zwodowanie.

Co niezwykle istotne, w projekcie omawianej łodzi postawiono na wiele specyficznych, innowacyjnych rozwiązań mających na celu uzyskanie możliwie najkorzystniejszych parametrów eksploatacyjnych budowanego pojazdu. Prowadzą one do uzyskania interdyscyplinarnego charakteru prac, związanych m.in. z zagadnieniami mechaniki płynów, elektroniki i elektryki, systemami radiowymi, automatyką, programowaniem, mechaniką. Jednym ze wspomnianych rozwiązań, a zarazem bodaj najbardziej ambitnym z punktu widzenia nauki, jest wykorzystanie w łodzi hydroskrzydeł w celu redukcji oporów hydrodynamicznych łodzi. Hydroskrzydła stanowią płyty nośne montowane pod kadłubem łodzi. Rozwiązanie to znane jest szerzej z tzw. wodolotów. W dużym uproszczeniu zasadę ich działania odnieść można do skrzydeł samolotu, w których to – na skutek kontrolowanego opływu zadanego profilu przez płyn i powstającemu zmiennemu polu ciśnień na jego powierzchniach: zewnętrznej i wewnętrznej – powstaje siła nośna. Siła ta pozwala na wynurzenie kadłuba z wody (ponad lustro wody), a tym samym na ograniczenie oporów hydrodynamicznych łodzi podczas ruchu. Zjawisko to wymaga odpowiedniego doboru kształtu elementu opływowego oraz identyfikacji pewnej minimalnej prędkości ruchu łodzi, przy której następuje jej wynurzenie. Wynurzenie to traktuje się jako wyjście ze stanu wypornościowego lub ślizgowego (w zależności od rodzaju kadłuba) oraz wejście w stan lotu. Prowadzi ono nie tylko do możliwości uzyskiwania większych prędkości przy zadanej mocy silnika elektrycznego, ale przede wszystkim zmniejsza ono zapotrzebowanie jednostkowe na energię słoneczną, przez co przy zadanych warunkach atmosferycznych możliwe staje się całkowite uniezależnienie łodzi od innych niż Słońce źródeł energii (uzyskanie pełnej autonomiczności energetycznej). Maleją więc wymagania dotyczące minimalnej powierzchni zabudowy ogniwami PV, maleje masa własna łodzi, rośnie przy tym jej potencjalny zasięg i nośność. Na etapie projektowania hydroskrzydeł, poza wpływem kształtu profilu i prędkości ruchu, niezbędne staje się m.in. zidentyfikowanie zjawiska wentylacji i kawitacji oraz sił pojawiających się w poszczególnych węzłach łodzi.

Za proponowanym rozwiązaniem przemawiają: niewielkie zapotrzebowanie na energię, stosunkowo duża możliwość wykorzystania instalacji fotowoltaicznej (w stosunku do dostępnej powierzchni w obrębie kadłuba) oraz duża dostępność – i relatywnie wysoka sprawność – elektrycznych silników bezszczotkowych i nowoczesnych akumulatorów. W efekcie, zastosowanie omawianego w niniejszej prezentacji ekologicznego systemu energetycznego w żegludze śródlądowej (i nie tylko) w przyszłości może stać się mocno konkurencyjne w stosunku do powszechniejszych obecnie systemów konwencjonalnych – silników spalinowych. Z tego też względu prace podjęte przez Koło Naukowe PWr Solar Boat Team wydają się być niezwykle istotne w perspektywie innowacyjności i praktyczności rozwiązań oferowanych przez studentów, doktorantów i młodych pracowników naukowych Politechniki Wrocławskiej w najbliższych latach.

# ŚCIEKI JAKO ŹRÓDŁO CIEPŁA ODPADOWEGO W BUDOWNICTWIE MIESZKALNYM

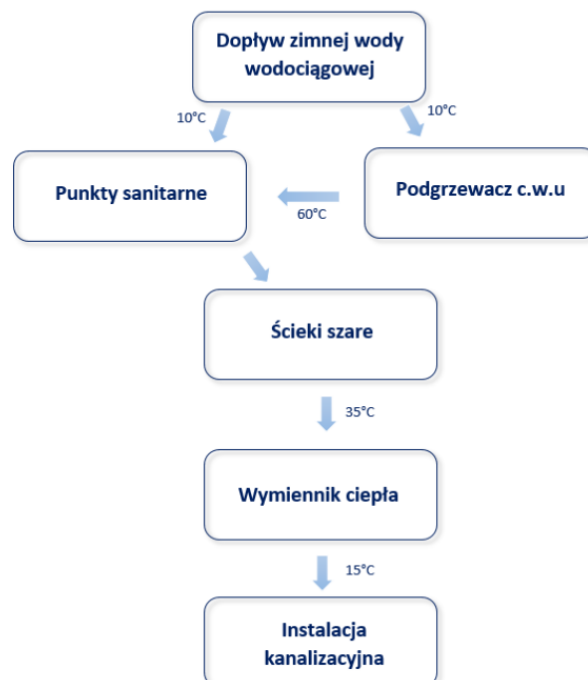
## GRAY WATER AS SOURCE OF WASTE HEAT IN RESIDENTIAL BUILDING

*Beata Piotrowska*

*Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Katedra Infrastruktury i Gospodarki Wodnej*

Potrzeba efektywnego wykorzystywania energii i prowadzenia zrównoważonej gospodarki energetycznej, a także fakt, iż w odprowadzanych ściekach zdeponowane są znaczne ilości energii cieplnej przyczyniły się do rozwoju prac w tematyce odzysku ciepła odpadowego, a ścieki szare zaczęto postrzegać nie tylko, jako alternatywne źródło wody o obniżonej, jakości. W ostatnich dwóch dekadach dynamicznie rozwijano problematykę związaną z opracowywaniem, udoskonalaniem, a wreszcie popularyzacją urządzeń i systemów do odbioru energii odpadowej. Badania prowadzone przez naukowców z całego świata umożliwiły między innymi eliminację wad konstrukcyjnych, poprawę efektywności energetycznej, a także dostarczyły informacji dotyczących wyboru optymalnej technologii odzysku ciepła odpadowego, w zależności od warunków montażowych i parametrów eksploatacyjnych.

Rozwój techniki umożliwia odzysk ciepła odpadowego na etapie powstawania, transportu i utylizacji ścieków. W sprzedaży dostępnych jest coraz więcej rodzajów wymienników ciepła. Mogą one działać, jako pojedyncze urządzenia, ale również tworzyć znacznie rozbudowane układy. Na wybór systemu wymiany ciepła składa się wiele czynników, wśród których można wyróżnić nakłady inwestycyjne, dostępność miejsca pod zabudowę, a także efektywność urządzenia [1].



Rys. 1. Możliwość wykorzystania ciepła ze ścieków w instalacjach kanalizacyjnych budynków mieszkalnych [4]

Efektywność odbioru ciepła zgodnie z powszechnie stosowanym wzorem (1) i wynika ze stosunku różnicy temperatur pomiędzy wodą wstępnie podgrzaną i zimną wodą wodociągową, a temperaturą ścieków szarych na dopływie do wymiennika oraz zimną wodą wodociągową [2, 3].



$$\varepsilon = \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:  $\varepsilon$  - skuteczność wymiennika ciepła, %,  $T_1$  - temperatura wody zimnej, °C,  $T_2$  - temperatura wody wstępnie podgrzanej w wymienniku, °C,  $T_3$  - temperatura ścieków szarych na wlocie do wymiennika ciepła, °C.

Efektywny odzysk ciepła zdeponowanego w ściekach szarych wymaga zmodyfikowania tradycyjnego rozwiązania instalacji kanalizacyjnej poprzez wprowadzenie rozdziału systemu osobno dla ścieków czarnych i ścieków szarych z uwagi na różnicę ich temperatur. Odzysk ciepła odpadowego jest zasadny zwłaszcza, gdy ścieki charakteryzuje stosunkowo niewielkie zanieczyszczenie, a ich temperatura przekracza 30°C. Możliwości wykorzystania ciepła ze ścieków w instalacjach kanalizacyjnych budynków mieszkalnych ukazano na rys. 1.

Zasadność wykorzystania technologii odbioru ciepła ze ścieków zarówno w wewnętrznych jak i zewnętrznych systemach kanalizacyjnych jest potwierdzona wynikami badań naukowców z całego świata. Wykorzystanie energii ze ścieków jest zasadne zwłaszcza w budynkach pasywnych, których koncepcja projektowa pozwala na zmniejszenie zapotrzebowania na ogrzewanie i chłodzenie przestrzeni, ale nie uwzględnia minimalizacji zużycia energii na przygotowanie ciepłej wody użytkowej, przez co szacuje się, że może ona stanowić nawet 50% całkowitego zapotrzebowania energetycznego.

## Literatura

- [1] Kimmels A., *Shower Heat Recovery: Overview of Commercially Available DWHR Systems*, “Meander Heat Recovery” 2011.
- [2] Pochwat K., Kordana S., Starzec M., Słyś D., *Comparison of two-prototype near-horizontal Drain Water Heat Recovery units on the basis of effectiveness*, “Energy” 2019, Vol. 173, pp. 1196–1207.
- [3] Mazhar A.R., Liu S., Shukla A.L., *A key review of non-industrial greywater heat harnessing*, “Energies” 2018, Vol. 11, No 2, 386, <https://doi.org/10.3390/en11020386>.
- [4] Słyś D., Kordana S., *Financial analysis of the implementation of a Drain Water Heat Recovery unit in residential housing*, “Energy and Buildings” 2014, Vol. 71, pp. 1–11.

**V SESJA REFERATOWA**  
**EKSPLOATACJA MASZYN**  
**I URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH**  
**OPERATION OF POWER MACHINERY**  
**AND DEVICES**





# WPLÝW ZANIECZYSZCZEŃ OBECNYCH W OLEJACH EKSPLOATOWANYCH W PRZEKŁADNIACH GÓRNICZYCH NA TRWAŁOŚĆ ELEMENTÓW MASZYN Z OSADZONYMI CIENKIMI POWŁOKAMI PRZECIWZUŻYCIOWYMI

## THE EFFECT OF CONTAMINANTS IN OILS OPERATED IN MINING GEARS ON THE WEAR OF MACHINE ELEMENTS WITH THIN ANTIWEAR COATINGS

Michał Michalak<sup>1</sup>, Remigiusz Michalczewski<sup>2</sup>, Waldemar Tuszyński<sup>2</sup>, Andrzej Wieczorek<sup>3</sup>,  
Elżbieta Rogoś<sup>2</sup>, Edyta Osuch-Słomka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny

<sup>2</sup>Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji

<sup>3</sup>Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej

Praca miała na celu określenie wpływu zanieczyszczeń występujących w olejach eksploatowanych w przekładniach górniczych na charakterystyki tribologiczne stalowych skojarzeń modelowych oraz skojarzeń z elementami pokrytymi powłoką przeciwzużyciową. Do badań pozyskano oleje eksploatowane w przekładniach maszyn górniczych (przenośników taśmowych i zgrzeblowych) pracujących w 5 kopalniach węgla kamiennego w Polsce. Oleje pochodziły z 6 różnych typów przekładni redukcyjnych o różnych czasach pracy. Określony został rodzaj zanieczyszczeń, które podczas eksploatacji przedostały się do olejów przez niesprawne uszczelnienia przekładni. Badania przeprowadzone z wykorzystaniem najnowocześniejszych technik analitycznych (XRF, SEM, EDS) pozwoliły na określenie składu i stężenia zanieczyszczeń w eksploatowanych olejach. Wyznaczono charakterystyki tribologiczne olejów dla skojarzeń pracujących w punktowym styku skoncentrowanym (z wykorzystaniem aparatu czterokulowego T-02U, produkcji ITeE w Radomiu. Zbadano wpływ olejów na charakterystyki tribologiczne w skojarzeniu elementów stalowych oraz tychże elementów pokrytych powłoką przeciwzużyciową WC/C, dedykowaną do zastosowania na uzębienia kół zębatych. W każdym oleju występowały zanieczyszczenia w postaci cząstek stałych (skała, węgiel), wody oraz produktów zużycia (Fe, Cu) przy czym ich ilość w każdym przypadku była różna. Dla każdego oleju zawierającego zanieczyszczenia uzyskano większe zużycie stalowych elementów trących niż dla oleju świeżego. Zastosowanie powłoki na elementy trące praktycznie całkowicie niwelowało negatywne działanie zanieczyszczeń. Wyniki badań modelowych potwierdziły sens zaplanowania eksperymentu na elementach komponentowych jakimi w tym przypadku będą koła zębate pracujące w układzie mocy krążącej w kierunkach współbieżnych i przeciwbieżnych przekładni walcowej.

## Literatura

- [1] Tuszyński W., Kalbarczyk M., Michalak M., Michalczewski R., Wieczorek A., *The effect of WC/C coating on the wear of bevel gears used in coal mines*, "Materials Science (Medziagotyra)" 2015, Vol. 21, No. 3, pp. 358–363.
- [2] Michalczewski R., Kalbarczyk M., Mankowska-Snopczynska A., Osuch-Słomka E., Piekoszewski W., Snarski-Adamski A., Szczerek M., Tuszyński W., Wulczynski J., Wieczorek A., *The Effect of a Gear Oil on Abrasion, Scuffing, and Pitting of the DLC-Coated 18CrNiMo7-6 Steel*, "Coatings" 2019, Special Issue "Tribology and Surface Engineering", Vol. 9, No. 3, 2.



- 
- [3] Tuszyński W., Gibała M., Kalbarczyk M., Matras E., Michalczewski R., Piekoszewski W., Sotowski Z., Szczerek M., Wulczyński J., Wieczorek A., *Characteristics of a new test rig and methodology for cyclic testing of gear tooth bending fatigue strength*, “Tribologia” 2019, Vol. 1, No 283, pp. 57–65.

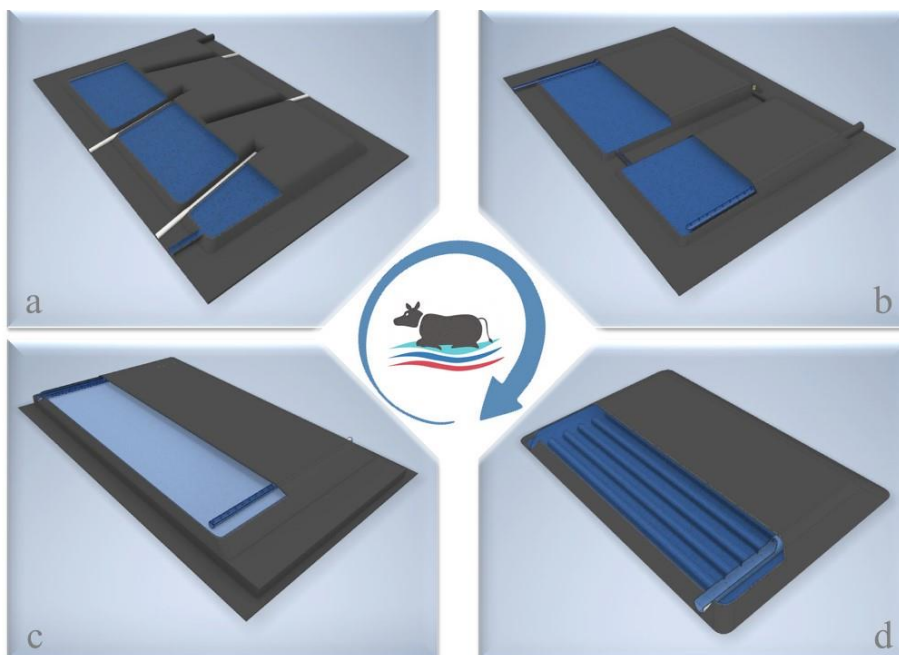
# WPŁYW GEOMETRII MATERACA WODNEGO DLA BYDŁA MLECZNEGO NA EFEKTYWNOŚĆ WYMIANY CIEPŁA NA DRODZE PRZEWODZENIA: PROJEKT RADMAT

## THE INFLUENCE OF THE DAIRY CATTLE'S WATER MATTRESS GEOMETRY ON THE CONDUCTIVE HEAT TRANSFER EFFICIENCY: RADMAT PROJECT

*Jagoda Błotny, Sabina Rosiek-Pawłowska*

*Politechnika Wroclawska, Katedra Termodynamiki i Odnawialanych Źródeł Energii*

Konstrukcja pomieszczeń inwentarskich utrudnia osiągnięcie komfortu cieplnego przebywających w nim zwierząt. Szczególne zagrożenie dobrostanu bydła mlecznego występuje w okresie letnim, kiedy w oborze można zaobserwować znaczący wzrost temperatury oraz wilgotności powietrza. Warunki te zaburzają bilans energetyczny zwierzęcia, które nie jest w stanie oddać do otoczenia nadmiaru ciepła metabolicznego, doświadczając stresu cieplnego [1]. Towarzyszący temu zjawisku wzrost temperatury wewnętrznej krowy [1] prowadzi do licznych zaburzeń zdrowotnych zwierzęcia, a w konsekwencji do redukcji zysków ekonomicznych hodowcy.



Rys. 1. Grafika przedstawiająca propozycje modyfikacji komercyjnych modeli materacy wodnych dla bydła mlecznego: a) rozwiązanie z systemem dystrybucji wody oraz ryflowanym podłożem, b) DCC Waterbed ([www.dccwaterbeds.com](http://www.dccwaterbeds.com)) z systemem dystrybucji wody, c) AquaStar ([www.bioret-agri.com](http://www.bioret-agri.com)) z systemem dystrybucji wody, d) rozwiązanie z zastosowaniem paneli kształtujących strukturę kanałową

Niwelacja stresu cieplnego u krów mlecznych opiera się na lokalnym odbiorze ciepła od zwierzęcia. W tym celu najczęściej wykorzystywane są otwarte systemy wodne – zraszacze lub dysze mgielne, w połączeniu z mechanicznym systemem nawiewu. Zastosowanie to wiąże się z dużym poborem wody oraz energii elektrycznej [2]. Ponadto zwilżenie legowiska krowy w wyniku działania zraszaczy naraża zwierzę na rozwój

zapalenia wymienia, natomiast wykorzystanie dysz mgielnych, prowadzi do wzrostu wilgotności powietrza [2] i pogorszenia warunków wymiany ciepła między zwierzęciem a otoczeniem. W obliczu powyższych problemów, szczególnie potencjał stanowi technologia oparta na wymianie ciepła przez przewodzenie, dzięki zastosowaniu zamkniętego obiegu wody chłodzącej.

Zaproponowane rozwiązanie opiera się na modyfikacji dostępnej komercyjnie maty wodnej dla bydła, w taki sposób by umożliwić wewnątrz niej przepływ wody chłodzącej i zapewnić bezpośredni odbiór ciepła od leżącej na macie krowy. Materace wodne dla bydła w swoim przeznaczeniu pełnią rolę komfortowego legowiska, zapewniającego równomierny rozkład ciężaru krowy, zapobiegając powstawaniu otarć i punktowego nacisku [3], prowadzącego do kulawizny. Wypukły kształt materaca zapewnia również spływ cieczy poza jego powierzchnię, poprawiając warunki higieniczne zwierzęcia. Rozwiązanie to jest rozwijane w ramach projektu RadMAT: Radiacyjny Materac Wodny ([www.radmat.eu](http://www.radmat.eu)), finansowanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej w ramach Programu Polskie Powroty 2018.

Z energetycznego punktu widzenia, kluczowymi parametrami mającymi wpływ na efektywność wymiany ciepła są: gradient temperatury między wodą chłodzącą a krową, współczynnik przewodzenia ciepła oraz grubość gumy i warstwy ściółki pokrywającej materac, strumień masy wody chłodzącej, a także geometria materaca warunkująca dystrybucję wody chłodzącej wewnątrz materaca. W niniejszej pracy zaproponowano kilka sposobów modyfikacji komercyjnych modeli materacy wodnych, pierwszym z nich jest ukształtowanie kanałów wodnych wewnątrz materaca poprzez działanie zewnętrzne przy wykorzystaniu metalowych paneli mocujących (rys. 1a). W rozwiązaniu rozpatrywano materac jednokomorowy i przyjęto ułożenie paneli w jodełkę, tak aby wydłużyć drogę strumienia oraz zapewnić spływ cieczy z powierzchni materaca. Kolejne rozwiązanie opiera się na zastosowaniu systemu dystrybucji wody, poprzez ułożenie dwóch perforowanych kolektorów wodnych – rozprowadzającego oraz zbierającego, w celu zapewnienia równomiernego rozprowadzenia wody. Rozwiązanie to zaproponowano dla dwóch komercyjnych modeli materacy: DCC Waterbed ([www.dccwaterbeds.com](http://www.dccwaterbeds.com)) składającego się z dwóch komór wodnych, które zostałyby ze sobą połączone poprzez utworzenie dwóch bocznych kanałów (rys. 2b) oraz modelu AquaStar ([www.bioret-agri.com](http://www.bioret-agri.com)), który stanowi rozwiązanie jednokomorowe, z dodatkową warstwą pianki lateksowej, zapewniającej amortyzację podczas kładzenia się krowy (rys. 1c). Ostatnia propozycja stanowi modyfikację materaca AquaStar poprzez usunięcie warstwy pianki lateksowej i zastąpienie jej spodnią warstwą gumy z ukształtowanymi kanałami, zapewniającymi jednoczesną amortyzację oraz dystrybucję wody chłodzącej bez możliwości zablokowania przepływu pod wpływem ciężaru krowy. W rozwiązaniu tym również zastosowano system dystrybucji wody, zmieniając jednak jego geometrię (rys. 1d).

Wpływ przedstawionych geometrii na efektywność wymiany ciepła na drodze przewodzenia został zweryfikowany przy wykorzystaniu środowiska Ansys Fluent. Analiza została poparta graficznym przedstawieniem wektorów prędkości i rozkładu temperatury dla wody chłodzącej oraz strumienia ciepła na powierzchni i na spodzie materaca (odpowiednio strumienia ciepła odbieranego od krowy oraz stanowiącego zysk ciepła od gruntu). Wybór optymalnego rozwiązania uwzględniał konfrontację otrzymanych wyników z technologicznymi wyzwaniami poszczególnych geometrii, co zostanie przedstawione w niniejszej pracy. Rozwiązanie to, stanowiące część instalacji RadMAT, zostanie zbadane eksperymentalnie w warunkach laboratoryjnych, a następnie na wybranej farmie mlecznej. Natomiast model numeryczny zostanie rozbudowany tak, aby uwzględnić wszystkie mechanizmy wymiany ciepła między krową a otoczeniem, umożliwiając jego walidację w warunkach rzeczywistych.

## Literatura

- [1] Liu J. i in., *Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: a novel idea for monitoring and evaluation of heat stress – a review*, “Asian Aust. J. Anim. Sci.” 2019, Vol. 32, pp. 1332–1339.
- [2] Fournel S. i in., *Practices for Alleviating Heat Stress of Dairy Cows in Humid Continental Climates: A Literature Review*, “Animals” 2017, Vol. 7, No. 5, 37.
- [3] Jones B. i in., *Case Study: Characterization of milk yield, lying and rumination behavior, gait, cleanliness, and lesions between 2 different freestall bases*, “The Professional Animal Scientist” 2017, Vol. 33, pp. 140–149.

# ANALIZA MODELI PRZEWODZENIA CIEPŁA MIĘDZY POWIERZCHNIAMI POZOSTAJĄCYMI W KONTAKCIE

## ANALYSIS OF THE HEAT CONDUCTION MODELS BETWEEN SURFACES IN CONTACT

*Aleksandra Przyłucka, Marcin Rywotycki, Agnieszka Cebo-Rudnicka  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,  
Katedra Techniki Ciepłej i Ochrony Środowiska*

W wielu procesach metalurgicznych istotnym zjawiskiem fizycznym jest transport ciepła przy kontakcie dwóch powierzchni ciał stałych. Wyznaczenie warunków brzegowych wymiany ciepła jest niezbędne do poprawnego rozwiązania równania przewodzenia ciepła. Strumień ciepła wymieniany pomiędzy dwiema powierzchniami w punkcie styku zależy od parametrów, takich jak temperatura, nacisk oraz czas trwania kontaktu i innych. Bezpośrednia identyfikacja i określenie warunków brzegowych podczas procesu jest trudne w realizacji. Rozwiązaniem tego problemu może być zbudowanie modelu procesu wymiany ciepła w kontakcie oraz zastosowanie metod numerycznych do określenia poszukiwanego warunku brzegowego. Żeby zaproponowany model był funkcjonalny jego weryfikacja musi odbywać się na podstawie wielkości łatwo mierzalnych w procesach przemysłowych [1].

Przewodność termiczna podczas styku jest złożonym problemem, obejmującym zagadnienia termiczne, mechaniczne i geometryczne. Podstawowym prawem stosowanym podczas analizowania praktycznych problemów termomechaniki ciał stałych jest prawo Fouriera, które wiąże gęstość strumienia ciepła z gradientem temperatury [2].

W pracy przedstawione zostaną metody wyznaczania współczynnika wymiany ciepła w kontakcie dwóch ciał opisane w literaturze. Opisy wymiany ciepła przedstawiane są dwójako. W pierwszym przypadku modele definiują stałą, średnią wartość współczynnika wymiany ciepła. Wykorzystanie go w modelach numerycznych prowadzi do otrzymania nieprecyzyjnych wyników obliczeń pola temperatury podczas modelowania procesów wysokotemperaturowych. Oddzielnie stosowane są modele zakładające zmienną wartość współczynnika wymiany ciepła w funkcjach:

- temperatury powierzchni ciał przy stałym nacisku,
- stałej temperatury powierzchni i zmiennego nacisku.

Zazwyczaj dla założonych wartości współczynnika wymiany ciepła wykonywane są obliczenia rozkładu temperatury, które weryfikuje się przez porównanie z wynikami pomiarów rzeczywistych. Dokonanie pomiarów eksperymentalnych wymaga skonstruowania stanowiska badawczego zaopatrzonego w system rejestracji zmian temperatury podczas trwania procesu. Dopasowanie wyników uzyskanych z części badawczej do wyników uzyskanych metodami numerycznymi pozwala wyznaczyć prawidłową wielkość poszukiwanego współczynnika wymiany ciepła.

## Literatura

- [1] Panaqouli O.K. i in., *A multiscale model for thermal contact conductance of rough surfaces under low applied pressure*, “International Journal of Solids and Structures” 2020, Vol. 200–201, pp. 106–118.
- [2] Poński M. i in., *Modele przepływu ciepła w ciałach stałych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, Budownictwo” 2013, Vol. 19, No. 169, s. 129–134.



# ANALIZA ŁADOWANIA ZBIORNIKA GORĄCEJ WODY O POJEMNOŚCI CIEPLNEJ 75 MWh

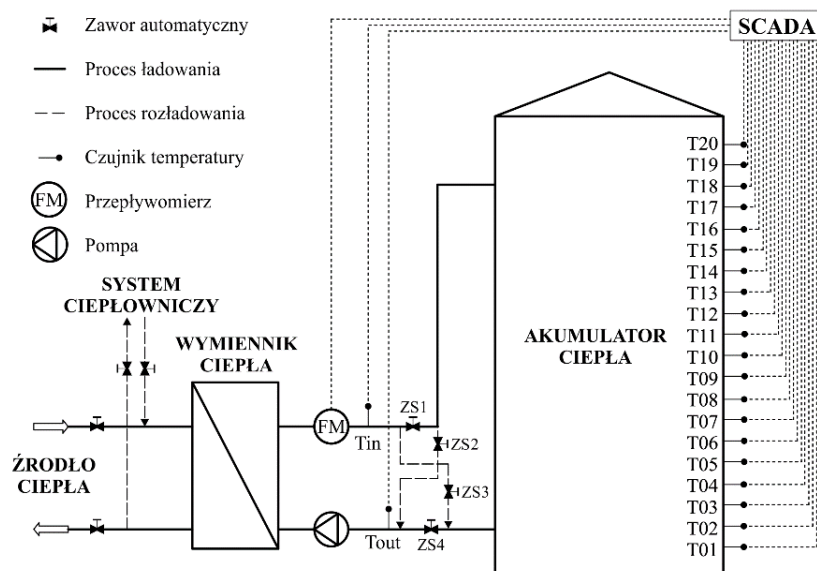
## NUMERICAL ANALYSIS OF CHARGING HOT WATER TANK WITH 75 MWh HEAT CAPACITY

*Patryk Peret*

*Politechnika Krakowska, Katedra Procesów Ciepłych, Ochrony Powietrza i Utylizacji Odpadów*

Jedną z metod zwiększania całkowitej sprawności elektrociepłowni jest akumulacja ciepła w pionowych, cylindrycznych zbiornikach gorącej wody. Zastosowanie systemu magazynowania energii pozwala na maksymalizację produkcji energii elektrycznej w przypadku niejednoczesnego występowania szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło [1]. Zakumulowane ciepło może być wykorzystane w innym dogodnym momencie, np. w okresie szczytowego zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową. Kolejną zaletą stosowania akumulatorów ciepła jest zwiększenie żywotności urządzeń energetycznych [2]. Spowodowane jest to tym, że przez dłuższy okres czasu możliwa jest praca elektrociepłowni na parametrach nominalnych bez częstych zmian obciążenia. W ostatecznym rozrachunku stosowanie zbiorników wody pozwala na obniżenie jednostkowego kosztu wytwarzania energii elektrycznej i ciepła [2].

W niniejszym opracowaniu przedstawiono opis techniczny oraz charakterystykę pracy układu akumulacji ciepła na terenie jednej z polskich elektrociepłowni. Źródłem ciepła współpracującym z omawianą instalacją są agregaty kogeneracyjne złożone z silników gazowych o łącznej mocy cieplnej 8 MWt i łącznej mocy elektrycznej 8 MWe. Całkowita pojemność cieplna beziśnieniowego akumulatora gorącej wody wynosi 75 MWh. Ciepło wyprodukowane w tej jednostce jest dostarczane do miejskiej sieci ciepłowniczej w celach użytkowych (ogrzewanie i ciepła woda użytkowa) a także jest wykorzystywane do celów technologicznych prowadzonych na terenie gospodarstw ogrodniczych oraz na obszarze strefy przemysłowej. Na rys. 1 przedstawiono schemat ideowy omawianego systemu magazynowania ciepła.

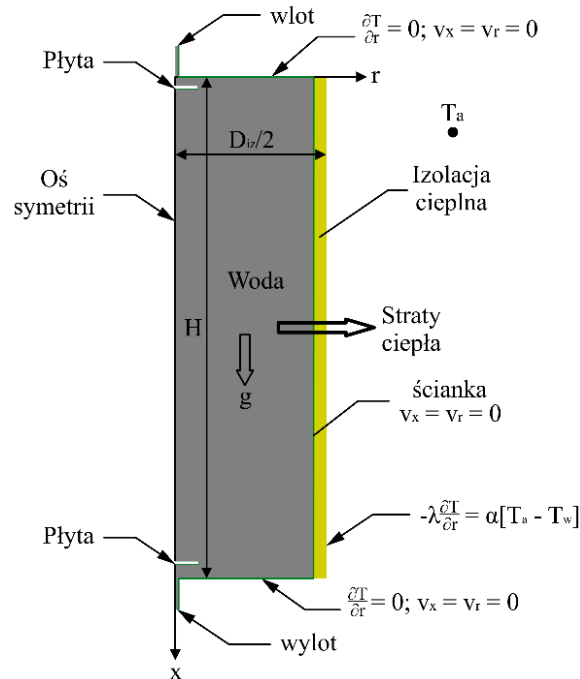


Rys. 1. Schemat ideowy systemu magazynowania ciepła

W artykule zaprezentowano wyniki analizy numerycznej opartej na osiowosymetrycznym modelu zbiornika gorącej wody (rys. 2) przy użyciu komercyjnego oprogramowania Ansys Fluent. Symulację za pomocą metody Computational Fluid Dynamics (CFD) przeprowadzono dla procesu ładowania akumulatora ciepła trawającego



10 godzin. Do rozwiązania sprzężonego zagadnienia ciepłno-przepływowego wykorzystano równanie ciągłości, równania Naviera-Stokesa i równanie energii. Założono, że wewnątrz akumulatora ruch płynu jest laminarny.



Rys. 2. Model geometryczny z zaznaczonymi warunkami brzegowymi

W modelu obliczeniowym założono, że płyn jest nieściśliwy i wpływ lepkości jest pomijalny. Ważnym zagadnieniem w przypadku zbiorników na gorącą wodę jest stratyfikacja termiczna spowodowana różnicą gęstości pomiędzy wodą o wyższej temperaturze, zlokalizowanej w górnej części akumulatora ciepła a wodą zimniejszą w jego dolnej części. Dlatego zastosowano funkcję wielomianową drugiego rzędu aproksymującą zależność gęstości czynnika magazynującego ciepło od jego temperatury. W obliczeniach założono stałe właściwości termofizyczne warstwy izolacyjnej, którą stanowi wełna mineralna.

Na podstawie danych historycznych uzyskanych z systemu archiwizacji danych pomiarowych zostały zadane warunki początkowe oraz warunki brzegowe. Początkowy rozkład temperatury wody w zasobniku wyznaczono na podstawie wskazań czujników temperatury rozmieszczonych na wysokości zbiornika. Temperatura i strumień masowy wody zmienia się w czasie zgodnie z danymi pomiarowymi, które były odczytywane co jedną minutę. Na powierzchni bocznej zbiornika założono konwekcyjny warunek brzegowy (trzeciego rodzaju). W tym celu został zadany współczynnik wnikania ciepła o stałej wartości oraz zmienna w czasie temperatura otoczenia zgodnie z rzeczywistymi danymi. Przyjęto, że wymiana ciepła nie zachodzi przez górną i dolną powierzchnię zbiornika. Na wszystkich ściankach założono brak poślizgu tzn.: prędkość wody jest równa zero.

Przeanalizowany został wpływ gęstości siatki obliczeniowej na otrzymywane rezultaty. Wyniki porównano graficznie z danymi pomiarowymi z elektrociepłowni po kilku pełnych godzinach procesu akumulacji ciepła. Uwzględnione zostały straty ciepła ze zbiornika gorącej wody oraz przedstawiono charakterystykę gęstości strumienia ciepła traconego do otoczenia.

## Literatura

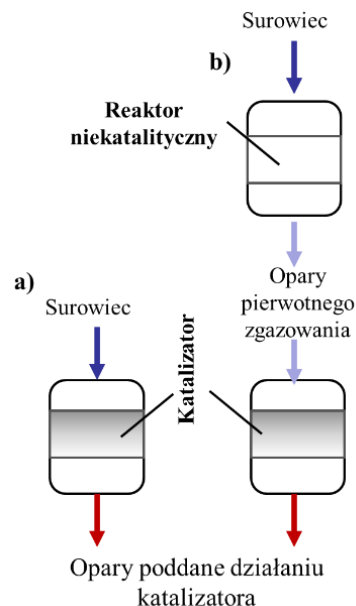
- [1] Kostowski W., Skorek J., *Thermodynamic and economic analysis of heat storage application in co-generation systems*, "International Journal of Energy Research" 2005, Vol. 29, pp. 177-188.
- [2] Dicner I., Rosen M. A., *Thermal energy storage systems and applications*, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, 2011.

# ANALIZA I CHARAKTERYSTYKA RÓŻNYCH TYPÓW KATALIZATORÓW WYKORZYSTYWANYCH W PROCESIE ZGAZOWANIA W CELU POPRAWY JAKOŚCI PRODUKTÓW KOŃCOWYCH

## ANALYSIS AND CHARACTERIZATION OF VARIOUS TYPES OF CATALYSTS USED IN THE GASIFICATION PROCESS TO IMPROVE THE QUALITY OF END PRODUCTS

*Małgorzata Sieradzka, Aneta Magdziarz  
 Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Sektor energetyczny jest siłą napędową rozwoju gospodarczego krajów. Produkcja energii z paliw kopalnych, takich jak węgiel, gaz ziemny i ropa naftowa, prowadzi do powstawania na przykład  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  i  $\text{CO}_2$ . Globalny ruch ekologiczny koncentruje się na redukcji emisji gazów cieplarnianych. To prowadzi nas do punktu, w którym sektor energetyczny musi korzystać ze źródeł energii, które są zarówno ekologiczne, jak i ekonomiczne. Jedną z opcji spełniających te wymagania jest proces zgazowania, tj. termicznej konwersji biomasy i odpadów. Proces ten zachodzi w zakresie temperatur od 500 do 1300°C w atmosferze powietrza, pary wodnej lub dwutlenku węgla. Jest to technologia bardziej przyjazna dla środowiska niż spalanie, wytwarza mniej tlenków azotu i dwutlenku siarki, a zdolność usuwania metali ciężkich w pozostałościach po zgazowaniu jest słabsza niż pozostałości po spalaniu. Zgazowanie prowadzi do wytwarzania głównie produktów gazowych, tj. syngazu, jak również stałych i płynnych o różnej wydajności w zależności od parametrów procesu [1].



Rys. 1. Schematyczny diagram dwóch typów katalizy w zgazowaniu katalitycznym; (a) *in-situ*, (b) *ex-situ*

W pracy skupiono się na zgazowaniu katalitycznym. Katalizatory stosuje się w celu poprawy jakości produktów końcowych. Dobrze znane katalizatory, takie jak Ni, Mg czy Fe, sprzyjają wytwarzaniu wodoru poprzez reformację metanu (Steam reforming) [2], a także równoległe reformowanie węglowodorów zawartych w materiale oraz wychwytywanie  $\text{CO}_2$  [3]. Katalizator można zastosować, na dwa sposoby (rys. 1):

i). zgazowanie katalityczne in situ (katalizator i surowiec są mieszane w reaktorze, a działanie odbywa się w tym samym reaktorze) oraz ii). zgazowanie katalityczne ex situ (katalizatory są umieszczane w oddzielnym reaktorze do katalitycznego uszlachetniania par, które następnie są przenoszone do reaktora gdzie zachodzi proces zgazowania).

Parametry katalizatora, które uwzględnia się przy jego wyborze to: powierzchnia właściwa, powierzchnia mikroporów, rozkład wielkości porów, struktura szkieletu, faza krystaliczna i wielkość krystalitu oraz dostępność. W procesie zgazowania najczęściej wykorzystuje się katalizatory oparte na CaO i MgO, tj. Ni-Mg-Al-CaO, Ni-Mg-Al-Ca i Ni-CaO-C. Zastosowanie takich katalizatorów prowadzi do zwiększenia wydajności produkcji głównych gazów ( $H_2$ ,  $CO_2$ , itp.) oraz poprawy jakości syngazu poprzez promowanie reakcji rozkładu smoły i lekkich węglowodorów ( $C_nH_m$ ). Katalizatory Ca i Mg występują w postaci rudy wapniowo-magnezowej – dolomit, o ogólnym wzorze chemicznym  $CaMg(CO_3)_2$ , który jest powszechnie stosowany do produkcji magnezu, jednak kalcynowany dolomit staje się wysoce wydajnym katalizatorem. Katalizatory na bazie Ni, Mg czy Fe sprzyjają obniżeniu temperatury procesu zgazowania. Efektywny i równoległy rozkład węglowodorów zawartych w materiale oraz wychwytywanie  $CO_2$  jest możliwe dzięki zastosowaniu mieszanki związków łączących właściwości zarówno katalizatora jak i sorbentu. Katalizatory zeolitowe czy amorficzne tlenki glinu są katalizatorami kwasowymi. Zeolity stanowią krystaliczne krzemiany i glinokrzemiany połączone atomami tlenu, tworzące trójwymiarową sieć zawierającą kanały i wnęki o wymiarach molekularnych. Występują w postaci stałej, do ich głównych zalet można zaliczyć: dużą powierzchnię właściwą, wymiary molekularne porów, możliwość modulacji właściwości elektronicznych miejsc aktywnych, wysoką zdolność adsorpcji czy możliwość wstępnej aktywacji cząsteczek przez silne pola elektryczne i uwięzienie cząsteczek. Kluczowe właściwości zeolitów to struktura, stosunek Si do Al, wielkość cząstek i rodzaj kationu. Te podstawowe czynniki struktury oraz składu wpływają na kwasowość, stabilność termiczną i ogólną aktywność katalityczną. Dzięki takim parametrom wykorzystywane są one do reakcji uwodornienia i rozrywania pierścieni węglowodorów aromatycznych, związków takich jak benzen, toluen, naftalen i policykliczne związki aromatyczne [4]. Wyniki badań naukowych wskazują na zmianę balansu masowego produktów końcowych procesu przy wykorzystaniu np. katalizatorów na bazie Ni. Obserwuje się znaczący wzrost produktów gazowych z poziomu okło 35% do nawet 65%, przy jednoczesnym obniżeniu wyprodukowanych olejów (spadek z ponad 50% do około 20%). Jednocześnie zawartość  $H_2$  w syngazie wzrasta o około 10–15% w porównaniu do eksperymentu przeprowadzanego w tych samych warunkach bez obecności katalizatora [5].

Reasumując, proces zgazowania daje możliwość wyprodukowania wysokiej jakości paliwa alternatywnego, które może zastąpić obecnie wykorzystywane paliwa kopalne do wytwarzania ciepła i energii. Wprowadzenie katalizatorów do tego procesu gwarantuje obniżenie ilości powstałej smoły, zwiększenie ilości oraz jakości głównego składnika jakim jest syngaz.

### Finansowanie

Praca była finansowana przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu „PRELUDIUM-18” (projekt badawczy nr 2019/35/N/ST8/00799).

### Literatura

- [1] Basu P., *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction*, 2018, <https://doi.org/10.1016/c2016-0-04056-1>.
- [2] Liu G i in., *Synthesis gas production from microalgae gasification in the presence of  $Fe_2O_3$  oxygen carrier and CaO additive*, “Appl Energy” 2018, Vol. 212, pp. 955–965, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.110>.
- [3] Wu C., *A novel Ni-Mg-Al-CaO catalyst with the dual functions of catalysis and  $CO_2$  sorption for  $H_2$  production from the pyrolysis-gasification of polypropylene*, “Fuel” 2010, Vol. 89, pp. 1435–1441, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.10.020>.
- [4] Shen Y, Yoshikawa K., *Recent progresses in catalytic tar elimination during biomass gasification or pyrolysis – A review*, “Renew Sustain Energy Rev” 2013, Vol. 21, pp. 371–392, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.062>.
- [5] Valizadeh S. i in., *Biohydrogen production from catalytic conversion of food waste via steam and air gasification using eggshell- and homo-type  $Ni/Al_2O_3$  catalysts*, “Bioresour Technol” 2021, Vol. 320, 124313, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124313>.

# DETERMINANTY WYBORU OPTYMALNYCH LOKALIZACJI ŹRÓDEŁ ODNAWIALNYCH I MAGAZYNÓW ENERGII

## DETERMINANTS OF OPTIMAL RENEWABLE ENERGY SOURCES AND ENERGY STORAGE LOCATION SELECTION

*Katarzyna Myślińska*

*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska*

Polska energetyka stoi przed coraz mocniej akcentowanym wyzwaniem redukcji emisji dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>). Kluczowe znaczenie ma w tym aspekcie zapowiedziany przez Komisję Europejską (KE) wniosek legislacyjny w sprawie zwiększenia celu redukcji emisji CO<sub>2</sub>. W związku z realizacją Europejskiego Zielonego Ładu w perspektywie do 2030 r. jego poziom może wynieść co najmniej 50–55% (względem obecnych 40%). Zgodnie z aktualnymi prognozami i kierunkami dalszego rozwoju energetyki niekonwencjonalnej [1], powyższe regulacje sprzyjają utrzymaniu się trendu rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE) względem coraz mniej preferowanych źródeł energii zasilanych paliwami kopalnymi.

Coraz powszechniej podnoszonym aspektem w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego jest także magazynowanie energii. Przykładem może być zaktualizowany projekt Polityki Energetycznej Polski do roku 2040 (dalej: „Polityka”) [2]. Wśród kluczowych elementów Polityki wskazano m.in. najbardziej oczekiwane innowacje w energetyce a wśród nich technologie magazynowania energii. Jak podkreślono, udział OZE (w szczególności fotowoltaiki oraz morskich farm wiatrowych) w strukturze krajowego zużycia energii elektrycznej netto wyniesie nie mniej niż 32% w 2030 r. Osiągnięcie takiego poziomu OZE w bilansie energetycznym kraju będzie możliwe wyłącznie przy zapewnieniu odpowiedniego rozwoju infrastruktury sieciowej i technologii magazynowania energii. Zakłada się także, że bilansowanie systemu elektroenergetycznego będzie wspierane rozwiązaniami hybrydowymi, łączącymi różne technologie OZE i tzw. samobilansowanie z wykorzystaniem magazynowania energii.

Przewiduje się, że w najbliższych latach, pomimo rosnącej presji społeczno-politycznej oraz spadających cen budowy instalacji OZE, rozwój OZE może być coraz bardziej utrudniony. W szczególności problematyczne będzie identyfikowanie optymalnych lokalizacji pod tego typu inwestycje, zarówno z powodu rosnącej konkurencyjności, jak również ograniczeń sieciowych.

Przedmiotem artykułu są zagadnienia związane z wyborem optymalnych lokalizacji odnawialnych źródeł energii wraz z systemami magazynowania. Przeprowadzono przegląd literatury pod kątem najczęściej uwzględnianych kryteriów, determinujących lokalizowanie OZE i magazynów energii na określonym obszarze. Jak zidentyfikowano, w wyborze lokalizacji OZE oraz zasobników energii kluczową rolę pełnią cztery grupy aspektów: techniczne, ekonomiczne, organizacyjno-prawne oraz środowiskowe.

Analiza źródeł literaturowych wykazała, że dotychczasowe badania w przedmiotowym obszarze koncentrują się przede wszystkim, albo na aspektach techniczno-ekonomicznych [13, 14] albo aspektach środowiskowych [11, 12, 15, 16] lokalizacji OZE. Bardzo niewielka grupa badaczy porusza równocześnie oba wspomniane aspekty lokalizacji OZE. Ponadto, każdy z autorów nieco odmiennie podchodzi do selekcji kryteriów determinujących lokalizację OZE. Część ze zidentyfikowanych różnic wynika zapewne z przeprowadzonej na potrzeby danej publikacji preselekcji, eliminującej aspekty mniej istotne z punktu widzenia celu przeprowadzonych badań. Równocześnie można domniemywać, że koncentracja na pewnej grupie kryteriów uwarunkowana jest także kierunkiem specjalizacji autora, a nie wyłącznie względami wagi poszczególnych czynników. Brak kompleksowego podejścia do ujmowania wszelkich aspektów determinujących wybór lokalizacji OZE, bez względu na dziedzinę specjalizacji badacza stanowi podstawę do podjęcia badań w taki sposób, aby uwzględnić w nich maksymalnie dużo czynników. Przeprowadzenie pełnej analizy wrażliwości



lokalizacji OZE na czynniki je determinujące pozwoliłoby stwierdzić, który z czynników najbardziej wpływa na wynik.

Z kolei w przypadku wyboru optymalnych lokalizacji magazynów energii różnorodność kryteriów uwzględnianych w literaturze jest dość duża. Zdecydowana większość publikacji obejmuje więcej niż jedną kategorię czynników, co może wskazywać na trend rosnącej kompleksowości analiz. Z drugiej strony brak koncentracji na wybranej grupie kryteriów lokalizacyjnych magazynów energii może być potwierdzeniem, że obszar ten nie jest jeszcze dostatecznie zbadany, aby umożliwić autorom, już na wstępnym etapie badań racjonalną preselekcję kryteriów. Stąd, dla zapewnienia wyższej jakości analiz decydują się oni na wybór szerszego wachlarza parametrów, z których z pewnością nie każdy ma równy wpływ na rezultat analizy.

Podsumowując, należy stwierdzić, że tak jak w przypadku OZE duże znaczenie przy wyborze lokalizacji odgrywają czynniki środowiskowe, tak w przypadku lokalizacji zasobników energii największe znaczenie mają czynniki: techniczne, sieciowe i ekonomiczne. W przypadku magazynów energii zwykle na dalszy plan schodzą również kwestie związane z wpływem tego typu instalacji na środowisko i krajobraz ze względu na fakt, że magazyny energii lokowane są albo w kontenerach magazynowych, albo w dedykowanych do tego celu budynkach, spełniających wszelkie wymagania zarówno w zakresie bezpieczeństwa przeciwpożarowego, jak i wpływu na środowisko. Obiekty te zwykle nie wzbudzają takich kontrowersji społecznych, jak niektóre rodzaje instalacji OZE.

Aktualnie istnieją zależności ekonomiczne wskazujące na opłacalność wykorzystywania OZE wraz z magazynami energii [8]. Równocześnie rozwijane są modele opisujące warunki optymalizacji pracy sieci poprzez magazynowanie energii [9, 10], jak również prowadzone są analizy przestrzenne dotyczące optymalnego sytuowania OZE [11, 12]. Dotychczasowe modele nie ujmują jednak tych zagadnień w sposób kompleksowy i komplementarny. Fakt ten powinien stanowić przesłankę do rozpoczęcia pogłębionych badań nad wielokryterialnymi modelami decyzyjnymi wspierającymi procesy inwestycyjne w obszarze energetyki opartej na OZE.

## Literatura

- [1] Lewandowski W., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2007.
- [2] *Projekt Polityki Energetycznej Polski do roku 2040*, 2020.
- [3] Strona internetowa: <https://www.gkpge.pl/relacje-inwestorskie/Grupa/strategia-grupy-pge>.
- [4] Strona internetowa: <https://www.orlen.pl/PL/BiuroPrasowe/Strony/PKN-ORLEN-inwestuje-w-zero-i-niskoemisyjne-C5%BAr%C3%B3d%C5%82a-wytwarzania.aspx>.
- [5] Strona internetowa: <https://biznesalert.pl/wodor-polska-pgnig-gaz-regulacje-strategia-wodorowa-energetyka/>.
- [6] Strona internetowa: <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/sieci-dystrybucyjne-magazyny-energii-OZE-POWERPOL-8176.html>.
- [7] Michałkiewicz M.E., *Studium wykonalności budowy wybranych magazynów energii na terenie Polski*, „Archiwum Instytutu Techniki Ciepłej” 2018, Vol. 5.
- [8] Mataczyńska E., *Magazyny energii w erze odnawialnych źródeł energii - rozwiązania australijskie*, „Wiadomości” 2018, Instytut Polityki Energetycznej im. Ignacego Łukasiewicza, Vol. 8, No. 238.
- [9] Ruiyang J. i in., *Location and Capacity Optimization of Distributed Energy Storage System in Peak-Shaving*, “Energies” 2020, Vol. 13, No. 3, 513.
- [10] Korpikiewicz J., *Lokalizacja zasobników energii w sieciach elektroenergetycznych za pomocą algorytmów ewolucyjnych*, „Acta Energetica” 2018, Vol. 3.
- [11] Aydin N.Y. i in., *GIS based site selection methodology for hybrid renewable energy*, “Energy Conversion and Management” 2013, Vol. 70.
- [12] Omitaomu O.A. i in., *Adapting a GIS-based multicriteria decision analysis approach for evaluating new power generating sites*, “Applied Energy” 2012, Vol. 96.
- [13] Henninger S. i in., *Analytical assessment of renewable energy sources and energy storage concerning their merits for the electric power system*, “Energy Procedia” 2017, Vol. 135.



- 
- [14] Opydo W. i in., *Integracja odnawialnych źródeł energii z siecią elektroenergetyczną*, „Poznan University of Technology Academic Journals” 2017, Vol. 89.
- [15] Charabi Y. Gastli A., *PV site suitability analysis using GIS-based spartial fuzzy multi-criteria evaluation*, “Renewable Energy” 2011, Vol. 36.
- [16] Janke J.R., *Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado*, “Renewable Energy” 2010, Vol. 35.

**VI SESJA REFERATOWA**  
**GOSPODARKA ODPADAMI**  
**WASTE MANAGEMENT**





# MOŻLIWOŚĆ ZAGOSPODAROWANIA POPIOŁÓW LOTNYCH Z TERMICZNEGO PRZEKSZTAŁCANIA KOMUNALNYCH OSADÓW ŚCIEKOWYCH W BUDOWNICTWIE WODNYM

## POSSIBILITY OF MANAGEMENT OF FLY ASH FROM THERMAL TREATMENT OF MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE IN WATER ENGINEERING

*Łukasz Szarek*

*Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska*

W Polsce w ostatnim dwudziestoleciu obserwuje się systematyczny rozwój gospodarki wodno-kanalizacyjnej. Następuje wypieranie metod zorientowanych na mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń ze ścieków na rzecz wysoko efektywnych technologii biologicznego oczyszczania. Proces ten, pożądaný z ekologicznego punktu widzenia, rodzi problem zagospodarowania rosnącej ilości osadów ściekowych, których przetwarzanie pochłania w przybliżeniu 50% kosztów pracy całej oczyszczalni, pomimo iż ilość generowanych osadów wynosi jedynie około 1÷3% objętości przepływających ścieków [1].

Jednym ze sposobów zagospodarowania osadów ściekowych jest ich przekształcanie termiczne. Komunalne osady ściekowe, o uwodnieniu poniżej 30%, mogą charakteryzować się ciepłem spalania zbliżonym do naturalnych nośników energii tj.: słoma, drewno, torf, a nawet węgiel brunatny, w związku z czym pozwalają na osiągnięcie autotermicznych warunków spalania i dodatniego bilansu energetycznego. Przekształcanie termiczne realizowane jest najczęściej w paleniskach fluidalnych. Proces ten polega na spalaniu wsadu surowcowego, jakim może być mieszanina podsuszonych komunalnych osadów ściekowych wraz ze skratkami i tłuszczami w zawieszynie drobnych cząstek ciała stałego, najczęściej piasku, w strumieniu mieszaniny powietrza atmosferycznego z zanieczyszczonym powietrzem pochodzącym z ciągów technologicznych oczyszczalni. Temperatura spalania wynosi 600÷900°C, co pozwala na ograniczenie zawartości związków azotu w spalinach. W wyniku przekształcania termicznego komunalnych osadów ściekowych (TPKOŚ) powstają odpady, w których największy udział mają popioły lotne. Następuje tu przesuwanie w łańcuchu technologicznym coraz bardziej przetworzonego odpadu aż do momentu, w którym zostanie on wykorzystany w innym procesie jako produkt lub podda się go definitywnej utylizacji. Z uwagi na założenia gospodarki o obiegu zamkniętym należy dążyć do pierwszego rozwiązania.

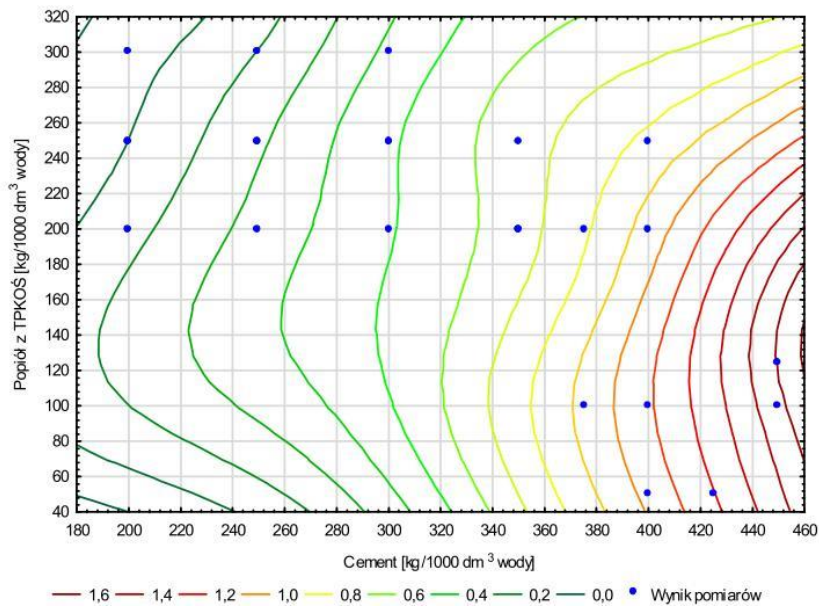
Popiół lotny z TPKOŚ charakteryzuje się specyficznymi właściwościami, niespotykanymi wśród innych tego typu odpadów (w szczególności powstałych w wyniku spalania węgla). Cechy te to m.in. wysoka wodozgodność i niska aktywność [2] oraz występowanie faz, w skład których wchodzi fosfor, co powoduje trudności w wykorzystaniu popiołu w technologii betonu, czy szerzej rozumianym budownictwie. Dodatkowy czynnik ryzyka stanowi podwyższona zawartość w popiele niektórych metali ciężkich.

W pracy przedstawiono wnioski płynące z badań nad wykorzystaniem popiołu z TPKOŚ w zawieszinach twardniejących – tiksotropowej mieszaninie wody (składnika przeważającego objętościowo), spoiwa i materiału ilastego, jak również, w zależności od przeznaczenia, innych składników mających zastosowanie przy wykonywaniu konstrukcji budowlanych w podłożu gruntowym.

Wykorzystany w eksperymencie popiół lotny z TPKOŚ pochodził z oczyszczalni ścieków komunalnych Czajka, należącej do Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji miasta stołecznego Warszawa. Na jego bazie skomponowano 24 receptury zawiesin twardniejących, które przebadano pod kątem wykorzystania ich w przesłonach przeciwfiltracyjnych, szeroko stosowanych w budownictwie wodnym, w szczególności w wałach przeciwpowodziowych. Składy zawiesin twardniejących różniły się zawartością popiołu z TPKOŚ (50÷300 kg/m<sup>3</sup> wody), cementu CEM I 32,5R (200÷400 kg/m<sup>3</sup> wody) oraz bentonitu sodowego (20÷30 kg/m<sup>3</sup> wody). Badano właściwości technologiczne – gęstość objętościową w stanie płynnym, lepkość umowną, wytrzymałość

strukturalną po 10 min, odstój dobowy oraz użytkowe – wytrzymałość na ściskanie, przewodność hydrauliczną  $k_{10}$ .

Analiza otrzymanych wyników wskazuje na możliwość wykonania zawiesziny twardniejącej na bazie popiołu z TPKOŚ o przydatnych właściwościach technologicznych i użytkowych, a w szczególności spełniającej wymagania stawiane zawiesinom stosowanym na przesłony przeciwfiltracyjne w wałach przeciwpowodziowych. Ponadto obserwowano ujemny wpływ dodatku popiołu na wytrzymałość zawiesziny twardniejącej na ściskanie (rys. 1) oraz prawdopodobny pozytywny wpływ na doszczelnienie struktury stwardniałej zawiesziny twardniejącej, czego wynikiem jest obniżenie jej przewodności hydraulicznej. Potwierdzono również, że cement najsilniej kształtuje właściwości użytkowe zawiesziny, natomiast bentonit właściwości technologiczne [3].



Rys. 1. Wpływ dodatku popiołu z TPKOŚ i cementu na wytrż. na ściskanie zawiesziny twardniejącej [3]

Ze względu na genezę powstania popiołu z TPKOŚ charakteryzują się podwyższoną zawartością niektórych metali ciężkich (m.in. cynku, miedzi, chromu, ołowiu oraz kadmu), z uwagi na kontakt zawieszin twardniejących z wodami gruntowymi wzięto pod uwagę możliwość uwalniania przez nie metali ciężkich, pochodzących z popiołu. W związku z powyższym wykonano metodą batch – krótkoterminowym, dynamicznym testem wymywalności, wyciągi wodne z zawiesziny twardniejącej (z receptury o właściwościach najbardziej pożądanych z punktu widzenia wykorzystania jej w przesłonach przeciwfiltracyjnych stosowanych w wałach przeciwpowodziowych) do oznaczania zawartości metali ciężkich – metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją płomieniową (FAAS). Istotą batch testu jest poddanie rozdrobnionej próbki materiału działaniu cieczy wymywającej (w tym przypadku wody destylowanej) w trakcie 24 godzinnego dynamicznego mieszania, w czasie którego powinien zostać osiągnięty stan równowagi pomiędzy fazami.

Tabela 1. Imobilizacja metali ciężkich w próbkach zawiesziny twardniejącej

Wyciąg wodny	Miedź	Cynk	Chrom	Kadm	Ołów
	%	%	%	%	%
1	>99,9	99,6	>99,6	99,0	96,5
2	>99,9	99,7	99,5	99,1	95,6
3	>99,9	99,6	99,5	>99,1	96,8

Analiza wyników badania wymywalności metali ciężkich z zawiesiny twardniejącej wskazuje, że dzięki sorpcyjnym właściwościom cementu oraz bentonitu poziom immobilizacji metali ciężkich w stwardniałej zawieszynie (rozumianej jako pozostałości pierwiastka w próbce po procesie wymywania do jego pierwotnej zawartości w próbce w stosunku masowym) należy uznać za wysoki (tab. 1).

## Literatura

- [1] Boruszko D., *Processing and neutralization of sewage sludge. Lab exercises*, “Wyd. Dydaktyczne Wydz. Budow. Inż. Środ.”, Białystok 2001.
- [2] Szarek Ł., Wojtkowska M., *Properties of fly ash from thermal treatment of municipal sewage sludge in terms of EN 450-1*, “Archives of Environmental Protection” 2018, Vol. 44, No. 1, pp. 63–69, doi: 10.24425/118182.
- [3] Szarek Ł., *The influence of addition fly ash from thermal treatment of municipal sewage sludge on selected hardening slurries properties*, “Monitoring and safety of hydrotechnical constructions”, pp. 329–340, 2019.

## ODSIARCZANIE SPALIN METODĄ PÓLSUCHĄ – ZAGOSPODAROWANIE ODPADÓW

### SEMI-DRY FLUE GAS DESULPHURISATION – WASTE TREATMENT

*Marta Plaskacz-Dziuba, Marcin Cichosz*  
*Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Katedra Technologii Chemicznej*

Odsiarczanie spalin jest to szeroko pojęte usuwanie związków siarki ze spalin odlotowych. Oczyszczanie gazów odlotowych jest niezbędnym działaniem zarówno ze względów ekologicznych, jak i ekonomicznych. Obecnie w krajach Unii Europejskiej obowiązują normy emisji dotyczące między innymi limitów emisji związków siarki [1]. W metodzie półsuchego odsiarczania spalin jako produkt uzyskuje się suchy materiał o złożonym składzie, którego głównym składnikiem jest  $2\text{CaSO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Proszek pozyskany z instalacji półsuchego odsiarczania Novel Integrated Desulphurisation został poddany analizom instrumentalnym, jakościowym oraz ilościowym, na podstawie których oceniono potencjalne zaimplementowanie tego materiału w przemyśle.

Analiza termogravimetryczna wykonana została w reżimie temperaturowym do  $1200^\circ\text{C}$  z szybkością grzania  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ , analizując produkty rozkładu badanego odpadu z NID techniką FT-IR. Jako atmosferę nad próbą zastosowano azot 5,0 z szybkością przepływu 50 ml/min. Zaobserwowano pięć wyraźnie wykształconych zmian termogravimetrycznych i energetycznych, w tym cztery procesy endoenergetyczne (odparowanie wilgoci zaadsorbowanej, dehydratacja  $2\text{CaSO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , dehydroksylacja  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  oraz desulfonatacja  $\text{CaSO}_3$  oraz jeden egzoenergetyczny (dekarbonatację  $\text{CaCO}_3$ ). Identyfikacji procesów dokonano analizując produkty wydzielane podczas termicznego rozkładu próby z wykorzystaniem analizy FT-IR (spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera).

Przeprowadzono również kompleksową analizę fizykochemiczną, m.in. wykonano analizy zawartości jonów  $\text{SO}_3^{2-}$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  (w przeliczeniu na  $2\text{CaSO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  i  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), wilgoci,  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oraz analizy SEM-EDX (skaningowym mikroskopem elektronowym z detektorem energii wzbudzanego promieniowania).

Wyznaczono, iż głównym składnikiem badanych materiałów jest  $2\text{CaSO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , a jego zawartość wynosiła  $41,24 \pm 0,63\%$ , zawartość  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $8,92 \pm 0,12\%$ , zawartość  $\text{SiO}_2$   $9,53 \pm 0,32\%$ , zawartość  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  około 1%. Wykazano również, że badane materiały nie są homogeniczne. Na obrazach z elektronowego mikroskopu skaningowego widoczne były nieregularnie występujące aglomeraty o średnicy od 30 do 100  $\mu\text{m}$ . Analizy EDX wykazały, iż pierwiastkami wchodzącymi w skład odpadów NID są tlen, siarka, wapń, chlor, krzem, glin, miedź oraz węgiel.

Wykonane badania pozwoliły na wyznaczenie możliwej ścieżki zagospodarowania odpadu pozyskiwanego z instalacji odsiarczania spalin metodą półsuchą Novel Integrated Desulphurisation. Jedną z wytypowanych ścieżek jest zaaplikowanie badanego materiału do masy zarobowej betonu komórkowego, jako substytut stosowanego przy jego produkcji  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  [2, 3].

## Literatura

- [1] Manovic V., Antony E.J. *Sequential  $\text{SO}_2/\text{CO}_2$  capture enhanced by steam reactivation of a CaO-based sorbent*. “Fuel” 2008, Vol. 87, pp. 1564–1573.
- [2] Hartmann A., Khakhutov M., Buhl J-Ch., *Hydrothermal synthesis of CSH-phases (tobermorite) under influence of Ca-formate*, “Materials Research Bulletin” 2014, Vol. 51, pp. 389-396.
- [3] Plaskacz-Dziuba M., Buczkowski R., Igliński B., Cichosz M., Dziuba P., *Analiza fizykochemiczna odpadu z instalacji odsiarczania spalin metodą półsuchą z elektrociepłowni przemysłowej w Janikowie*, „Inż. Ekolog.” 2014, Vol. 38, s. 91–105.

# BADANIA WSTĘPNE ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY ZAWARTOŚCIĄ RTĘCI A ZAWARTOŚCIĄ POPIOŁU I SIARKI W WYBRANYCH GRUPACH ODPADÓW

## PRELIMINARY STUDIES OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE MERCURY CONTENT AND THE CONTENT OF ASH AND SULPHUR IN SELECTED TYPE OF WASTE

*Marcelina Bury<sup>1,2</sup>, Piotr Burmistrz<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw*

<sup>2</sup>*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Centrum Energetyki AGH*

Obecnie wdrażana dekarbonizacja będzie powodować stopniowe zmniejszanie zużycia węgla i zastępowanie go innymi rodzajami paliw, w tym paliwami alternatywnymi na bazie odpadów. Paliwa te charakteryzują się dużym zróżnicowaniem zawartości rtęci, a ich współpalanie z węglem może przyczynić się do przekroczenia norm emisyjnych, które zaczną obowiązywać w 2021 roku. Dlatego bardzo ważna jest ścisła kontrola zawartości rtęci w odpadach i prowadzenie badań nad jej występowaniem, co może przyczynić się do opracowania metody pozwalającej na jej obniżenie w odpadach przed ich wykorzystaniem.

Do badań przygotowano 21 próbek laboratoryjnych paliw alternatywnych (RDF, makulatura, tekstylia, karton, folia, guma z opon samochodów i jej karbonizaty, osady ściekowe, szkło). Próbki paliw suszono w temperaturze pokojowej do stanu powietrzno-suchego. Następnie próbki zhomogenizowano i rozdrobniono do badań laboratoryjnych. Rozdrobniono je przy wykorzystaniu młynka kriogenicznego Freezer/Mill 6870D firmy SpexSamplePrep oraz przy pomocy młynka nożowego LMN-100 firmy Testchem, do uziarnienia poniżej 0,5 mm. We wszystkich próbkach oznaczono zawartość rtęci przy wykorzystaniu analizatora rtęci DMA-80. Urządzenie wykorzystuje technikę spektrometrii absorpcji atomowej. W badanych próbkach oznaczono również zawartość wilgoci, popiołu i siarki całkowitej. Zawartość wilgoci oznaczono przy wykorzystaniu wagosuszarki MA 110.R firmy Radwag, zawartość popiołu oznaczono przy wykorzystaniu pieca muflowego w temperaturze 550°C, a siarkę przy wykorzystaniu analizatora CHS-580 firmy ELTRA.

Próbki podzielono na poszczególne grupy odpadów, dla których wykonano analizę statystyczną zależności pomiędzy zawartością rtęci a zawartością popiołu i siarki (analiza korelacji Rang Spearmana i korelacji liniowej). W analizie uwzględniono również wyniki badań prezentowane w literaturze. Uzyskane współczynniki korelacji były relatywnie niskie, co należy tłumaczyć wysoką niejednorodnością poszczególnych odpadów (paliw alternatywnych), którą należy utożsamiać z różnym ich pochodzeniem. Dla badanych RDF uzyskano rosnącą zależność liniową pomiędzy zawartością rtęci a popiołu ( $R^2 = 0,539$ ), co może świadczyć o występowaniu rtęci w tego typu paliwach w związkach mineralnych. Potencjalne usunięcie części składników mineralnych w surowcu mogłoby spowodować obniżenie zawartości rtęci, niemniej jednak wymaga to przeprowadzenia stosownych badań.

### Podziękowania

Badania sfinansowano z Subwencji Badawczej Akademii Górniczo-Hutniczej nr 16.16.210.476.



# KRYTYCZNY PRZEGLĄD PLAZMOWYCH INSTALACJI DO UTYLIZACJI ODPADÓW W ODNIESIENIU DO DOŚWIADCZEŃ WŁASNYCH

## CRITICAL REVIEW OF PLASMA INSTALLATIONS FOR UTILIZATION OF WASTE WITH REFERENCE TO OWN EXPERIENCE

Tadeusz Mączka<sup>1</sup>, Halina Pawlak-Kruczek<sup>2</sup>, Marcin Baranowski<sup>2</sup>, Michał Czerep<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instytut Automatyki Systemów Energetycznych, Centrum Badawczo-Rozwojowe

<sup>2</sup>Politechnika Wroclawska, Katedra Mechaniki, Maszyn, Urządzeń i Procesów Energetycznych

Powstawanie odpadów komunalnych jest skutkiem ubocznym ukształtowania się cywilizacji człowieka w jej obecnym kształcie. Wśród odpadów komunalnych znaleźć można wszystkie substancje jakie towarzyszą ludziom w życiu codziennym, wśród których znaczący odsetek stanowią zarówno organiczne jak i nieorganiczne substancje palne.

Opadem jest każda substancja lub przedmiot, który posiadacz usuwa, zamierza usunąć lub ma obowiązek usunąć wg Ramowej Dyrektywy o odpadach [1, 2]. Najczęściej wykorzystywaną obecnie metodą utylizacji odpadów komunalnych na świecie, poza składowaniem, jest ich obróbka termiczna, a w szczególności spalanie. Ze względu na złożoność procesów termicznej obróbki odpadów oraz ze względu na ich zmienny i niehomogeniczny skład ich utylizacja wymaga dużej rozważliwości i stosowania coraz to nowocześniejszych rozwiązań w zakresie technologii i konstrukcji. W Polsce, niektóre rodzaje odpadów można traktować jako odnawialne źródło energii – t.j. ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych lub komunalnych pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, w tym odpadów z instalacji do przetwarzania odpadów oraz odpadów z uzdatniania wody i oczyszczania ścieków, w szczególności osadów ściekowych, są traktowane jako biomasa [3].

Ramowa dyrektywa UE o odpadach pozwala aby przedmiot/substancja utraciła status odpadu. W tradycyjnych technikach termicznej utylizacji odpadów, utylizacja pozwala na zmniejszenie strumienia masy odpadów składowanych a pozostałość nieorganiczna pozostaje odpadem, lub wymaga dodatkowego przetworzenia. Z powyższych względów coraz większym zainteresowaniem cieszą się techniki plazmowe, z uwagi na wysokie temperatury, pozwalające na wityfikację pozostałości nieorganicznej, co z kolei ogranicza możliwość wymywania z nich metali ciężkich a tym samym pozwala na utratę statusu odpadu i wykorzystanie wityfikatu jako produktu (np. kruszywa). Celem pracy jest dokonanie przeglądu plazmowych instalacji do utylizacji odpadów, w tym rozwiązań własnych, przy szczególnym uwzględnieniu ich gotowości technologicznej i faktycznej możliwości spełnienia uwarunkowanych prawnie wymagań.

## Literatura

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, L 312, 22.11.2008, pp. 3–30, ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, L 150, 14.6.2018, pp. 109–140, ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj>.
- [3] Ustawa z dnia 16 lipca 2020 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii. Dziennik Ustaw Dz.U. 2020, poz. 1503 (tekst ujednolicony Dz.U. 2020, poz. 261).



## HIGIENIZACJA ŚCIEKÓW W DOBIE WIRUSA SARS-CoV-2

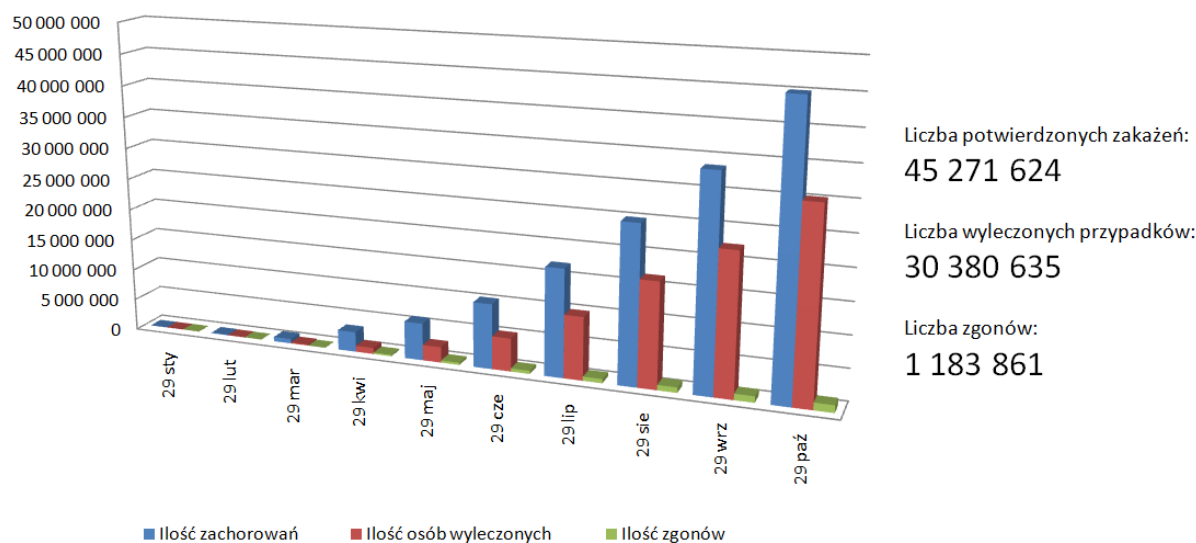
### HYGIENISATION OF SEWAGE DURING SARS-CoV-2 TIME

*Klaudia Czerwińska, Małgorzata Wilk  
 AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Patogeny zawarte w ściekach mogą stanowić poważne zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia ludzkiego. Obecna sytuacja epidemiologiczna skłoniła naukowców do badania ścieków pod kątem zawartości w nich wirusa SARS-CoV-2. W aktualnej literaturze, można znaleźć wiele wyników badań potwierdzających obecność wirusa w ściekach [1]. Z tego powodu ważna jest ocena potencjału przenoszenia chorób przez systemy kanalizacyjne oraz ścieki, a także przedstawienie sposobów radzenia sobie z tym zjawiskiem.

Wiele zespołów naukowych potwierdziło występowanie niebezpiecznego wirusa w ściekach m.in. w Japonii, Francji, Australii, Włoszech, Niderlandach, Hiszpanii, USA, Ekwadorze, Indiach, Niemczech, Brazylii [1]. Ilość krajów wskazuje na skalę problemu. Główną drogą przenoszenia tego wirusa jest prawdopodobnie wdychanie aerozoli skażonych wirusem. Jednak badania potwierdzające obecność wirusa w ściekach wskazują również na możliwość istnienia innej drogi zakażenia. W związku z tym istnieje potrzeba dokładnego zbadania ścieków, jako potencjalnego źródła ryzyka dla zdrowia publicznego.

#### Koronawirus (COVID-19)



Rys. 1. Koronawirus – wykres obrazujący liczbę potwierdzonych, wyleczonych przypadków oraz liczbę zgonów (dane z dnia 30.10.2020 r.) [2]

Niezależnie od tego czy wirus SARS-CoV-2 w ściekach posiada cechy zakaźne czy nie, możliwe jest wykorzystanie oznaczania wirusa w ściekach jako narzędzia służącego do wczesnego wykrywania ognisk zakażeń. Próbkę ścieków z zidentyfikowanym wirusem sygnalizują o infekcji w populacji i pozwalają na wczesne zahamowanie rozprzestrzenienia się zakażenia.

Ważnym aspektem jest również odpowiednia dezynfekcja ścieków w celu usunięcia potencjalnego źródła zakażenia. Aktualnie do uzdatniania ścieków stosuje się głównie dodatki substancji powodującej dezaktywację wirusa. Należą do nich między innymi podchloryn sodu, kwas nadoctowy i nadtlenek wodoru czy chlor. Stosuje się również światło UV. Zbyt duża ilość dodanych substancji chemicznych może wpłynąć w znacznym stopniu

na środowisko naturalne. W związku z tym oraz z wrażliwością wirusa na zmianę pH, temperaturę i skład ścieków istnieje wiele możliwości alternatywnych metod higienizacji ścieków [3].

Najbardziej optymalnymi, alternatywnymi rozwiązaniami higienizacji osadów ściekowych są sposoby bazujące na podwyższonej temperaturze, które eliminują patogeny. Tę grupę metod można w łatwy sposób połączyć z neutralizacją ścieków.

Łączone metody (unieszkodliwiania ścieków oraz usunięcia patogenów) obejmują między innymi: spalanie osadów ściekowych, współspalanie osadów ściekowych z paliwem stałym oraz alternatywne metody tj. zgazowywanie, pirolizę, mokre utlenianie, technologie plazmowe, czy metodę hydrotermicznego kondycjonowania (HTK). Większość z tych metod wymaga użycia dużej ilości energii na suszenie materiału pierwotnego. Wyjątkiem jest tutaj metoda HTK, która eliminuje ten problem ze względu na prowadzenie procesu w środowisku wodnym, a surowy materiał nie wymaga wcześniejszego przygotowania. Produkt stały procesu, tak zwany hydrowęgiel, może zostać wykorzystany jako paliwo o potencjale energetycznym.

W procesie hydrotermicznego kondycjonowania ścieków, wstępnej obróbce termicznej ulegają zarówno związki organiczne, jak i nieorganiczne. Niewątpliwą zaletą procesu jest poprawa odwadnialności ścieków. Wadą jest natomiast wymóg dodatkowej obróbki powstającej fazy ciekłej, która zawiera wiele substancji mineralnych i rozpuszczonych związków organicznych. W związku z tym faza ciekła wymaga głębszych badań w celu minimalizacji ilości rozpuszczonych substancji.

### Podziękowanie

Praca jest realizowana w ramach grantu uczelnianego dotyczącego szeroko rozumianej problematyki zagrożeń globalnych takich jak COVID19: „Hydrotermiczna higienizacja osadów ściekowych i analiza zagospodarowania produktów stałych i ciekłych procesu” (konkurs „System grantów uczelnianych na prace badawcze realizowane z udziałem doktorantów” – Działanie 4), PROJEKT „INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI – UCZELNIA BADAWCZA, AGH, 2020–2021 [projekt nr 501.696.7995].

Szczególne podziękowania kierowane są do firmy EKOPROD Sp. z o.o. w Bytomiu właściciela urządzenia Zipperclave Stirred Reactor, który użyczył aparatury badawczej.

### Literatura

- [1] García-Ávila F., Valdiviezo-Gonzales L. i in. *Considerations on water quality and the use of chlorine in times of SARS-CoV-2 (COVID-19) pandemic in the community*, “Case Studies in Chemical and Environmental Engineering” 2020, Vol 2, 100049.
- [2] Strona internetowa <https://pl.tradingview.com/covid19/>.
- [3] Carratur F., Del Giudice C. i in., *Persistence of SARS-CoV-2 in the environment and COVID-19 transmission risk from environmental matrices and surfaces*, “Environmental Pollution” 2020, Vol. 265, Part B, 115010.

# LANDFILL MINING: EXPLORING THE SUITABILITY OF PYROLYSIS AS A METHOD OF EXCAVATED WASTE VALORISATION

*Katarzyna Jagodzińska, Pär Göran Jönsson, Weihong Yang*  
*KTH Royal Institute of Technology, Department of Material Sciences and Engineering*

The majority of European landfills predate the EU Landfill Directive of 1999, thereby posing a tremendous environmental and health risk due to the lack of any environmental protection technology. Moreover, in England alone, there are over 1200 landfills under threat of flooding [1]. These menaces laid the foundations for the development of the Enhanced Landfill Mining concept (ELFM), which means excavation of existing landfills combined with material recovery and subsequent energy recovery from non-recyclable plastics, textiles, wood, and paper while fulfilling rigorous environmental and social criteria [2].

Currently, incineration is seen as the most effective way of energy recovery from excavated waste. However, the continuing transition towards climate neutrality and resource-efficient economy includes the implementation of, among others, economic instruments like landfill and waste incineration taxes. This puts incineration in a precarious position and turns attention to other waste-to-energy technologies, such as gasification or pyrolysis.

In the open literature, several experimental studies on excavated waste gasification, including plasma, steam or steam/air gasification, can be found [3, 4]. On excavated waste pyrolysis, however, only two articles were found concerning the kinetic parameters of the process [5] and the production of fuel from excavated plastics and used lubrication oils [6]. This limited scope of the previous studies exposes a knowledge gap which laid the foundation for our research.

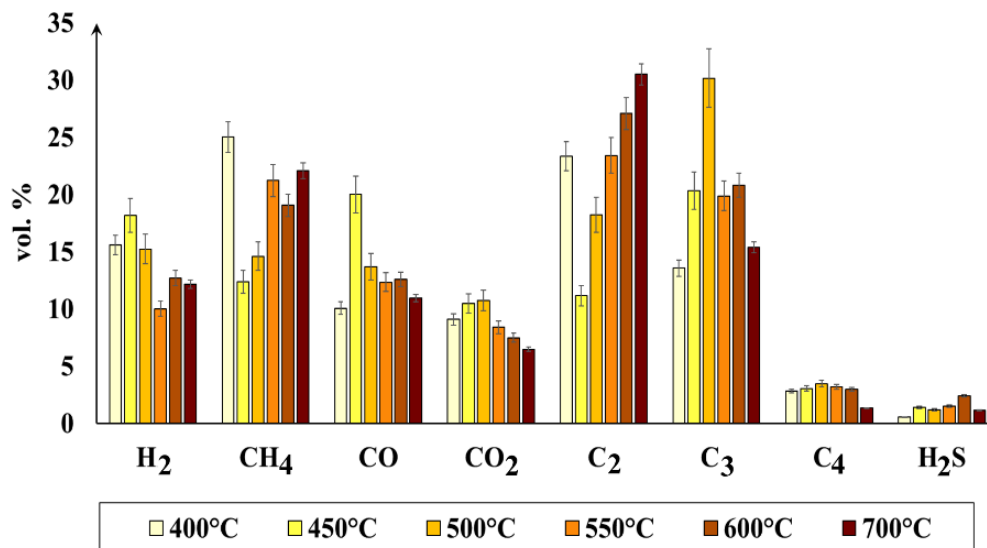


Fig. 1. Non-condensables composition at different pyrolysis temperatures [8]

Our research started with the investigation of the composition and pyrolysis potential of excavated waste fractions using thermogravimetry, analytical pyrolysis (Py-GC/MS) and ICP-OES [7]. Six fractions were analysed – paper, two types of plastics, textiles, wood, and a remaining unclassified fraction. Most of the analysed fractions are characterised by a high calorific value indicating pyrolysis as a feasible way of their valorisation. However, they also contain considerable amounts of chlorine and heavy metals, which could jeopardise the process utility. This is because the presence of corrosive and toxic compounds among pyrolysis products might

demand their cleaning, thus increasing investment and operational costs of the installation. Therefore, to allow maximal utilisation of all fractions, collective pyrolysis of all the fractions was chosen as a further research stage. Not only would it result in the reduction of installation costs (one installation instead of several) but also in the elimination of costs for extra sorting steps.

Our next step was the lab-scale investigation of pyrolysis of refuse-derived fuel (RDF) formed from excavated waste [8]. Due to the page limit, only the chosen results were presented herein. The study on the process product properties and their quality change along with the temperature was performed at six temperatures in the range of 400–700°C. The process condensable and non-condensable products were characterised using GC/MS and the MicroGC (Fig. 1), respectively. The distribution of C, H, N, S, Cl and O among the pyrolysis products was determined as well. The study revealed that the produced pyrovapours show potential for catalytic upgrading to fuels or high-quality syngas; however, considerable amounts of H<sub>2</sub>S and organically bound chlorine among them have to be taken into account in further research.

### Acknowledgement



The NEW-MINE project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 721185. The project website is <http://new-mine.eu/>.

### Literature

- [1] Brand J.H., Spencer K.L., *Risk screening assessment for ranking historic coastal landfills by pollution risk*, “Anthropocene Coasts” 2018, Vol. 1, No. 1, pp. 44-61, doi: 10.1139/anc-2018-0001.
- [2] Jones P.T., Geysen D., Tielemans Y., Van Passel S., Pontikes Y., Blanpain B., Quaghebeur M., Hoekstra N., *Enhanced Landfill Mining in view of multiple resource recovery: A critical review*, “Journal of Cleaner Production” 2013, Vol. 55, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.05.021.
- [3] Zaini I.Z., Gomez-Rueda Y., García López C., Ratnasari D.K., Helsen L., Pretz T., Jönsson P.G., Yang W., *Production of H<sub>2</sub>-rich syngas from excavated landfill waste through steam co-gasification with biochar*, “Energy” 2020, Vol. 207, doi: 10.1016/j.energy.2020.118208.
- [4] Agon N., Hrabovský M., Chumak O., Hlína M., Kopecký V., Mašláni A., Bosmans A., Helsen L., Skoblja S., Van Oost G., Vierendeels J., *Plasma gasification of refuse derived fuel in a single-stage system using different gasifying agents*, “Waste Management” 2016, Vol. 47, doi: 10.1016/j.wasman.2015.07.014.
- [5] Bosmans A., De Dobbelaere C., Helsen L., *Pyrolysis characteristics of excavated waste material processed into refuse derived fuel*, “Fuel” 2014, Vol. 122, doi: 10.1016/j.fuel.2014.01.019.
- [6] Breyer S., Mekhitarian L., Rimez B., Haut B., *Production of an alternative fuel by the co-pyrolysis of landfill recovered plastic wastes and used lubrication oils*, “Waste Management” 2017, Vol. 60, doi: 10.1016/j.wasman.2016.12.011.
- [7] Jagodzińska K., Garcia-Lopez C., Yang W., Jönsson P.G., Pretz T., Raulf K., *Characterisation of excavated landfill waste fractions to evaluate the energy recovery potential using Py-GC/MS and ICP techniques*, “Resources, Conservation & Recycling” 2020, (submitted).
- [8] Jagodzińska K., Zaini I.N., Svanberg R., Yang W., Jönsson P.G., *Pyrolysis of excavated waste from landfill mining: Characterisation of the process products*, “Journal of Cleaner Production” 2021, Vol. 279, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123541.

**SESJA POSTEROWA**  
**POSTER SESSION**





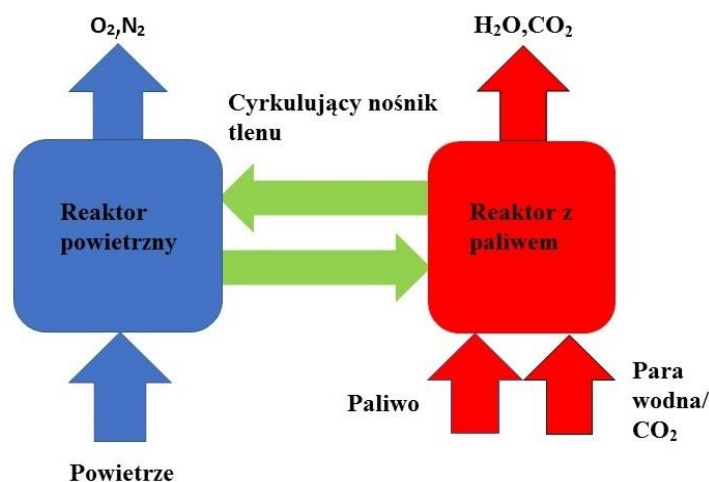
# STAN WIEDZY NA TEMAT BADAŃ W OBSZARZE SPALANIA BIOMASY W OPARCIU O METODĘ PĘTLI TLENKOWEJ

## THE STATE OF THE ART OF RESEARCH ON BIOMASS CHEMICAL LOOP BASED COMBUSTION

Artur Skalny  
 Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny

W obecnym świecie dominującą formą pozyskiwania energii jest spalanie paliw kopalnych. Wiąże się to jednak z emisją gazów cieplarnianych powodujących globalne ocieplenie klimatu. Chcąc zneutralizować lub ograniczyć negatywny wpływ spalania na środowisko stosuje się różne metody, jedną z potencjalnych technik może w przyszłości być użycie pętli tlenkowej (metoda CLC) w celu energetycznego spalania np. węgla lub biomasy.

Rysunek na końcu tekstu przedstawia ogólny schemat procesu CLC, gdzie wprowadzone paliwo spala się przy pomocy tlenu dostarczonego przez stały nośnik tlenu, nie jak w wypadku konwencjonalnych metod, gdzie używa się do tego tlenu z powietrza. Po spaleniu nośnik jest zawracany z reaktora z paliwem do reaktora z powietrzem gdzie następuje jego regeneracja – utlenienie, po to, aby być użytym kolejny raz. W efekcie zastosowania tej metody otrzymuje się czysty strumień  $\text{CO}_2$  oraz parę wodną. W celu otrzymania czystego strumienia  $\text{CO}_2$  konieczna jest jedynie kondensacja wody, co pozwala na sekwencję ditlenku węgla i z istotnym ograniczeniem jego emisji do atmosfery. Ponadto, nie uwalniane są również inne zanieczyszczenia takie jak np.  $\text{NO}_x$ .



Rys. 1. Ogólny schemat procesu CLC

## Literatura

- [1] Bhui B., Vairakannu P., *Prospects and issues of integration of co-combustion of solid fuels (coal and biomass) in chemical looping technology*, "Journal of Environmental Management" 2019, Vol. 231, No. 1, pp. 1241–1256.
- [2] Merrett K.M., Whitty K.J., *Evaluation of coal conversion pathways in fluidized bed chemical looping combustion with oxygen uncoupling (CLOU)*, "Fuel" 2019, Vol. 258, 116157.

# ANALIZA ŚWIATOWYCH OSIĄGNIĘĆ W ZAKRESIE BADAŃ ZE SPALANIEM WĘGLI Z ZASTOSOWANIEM METODY CD-CLC

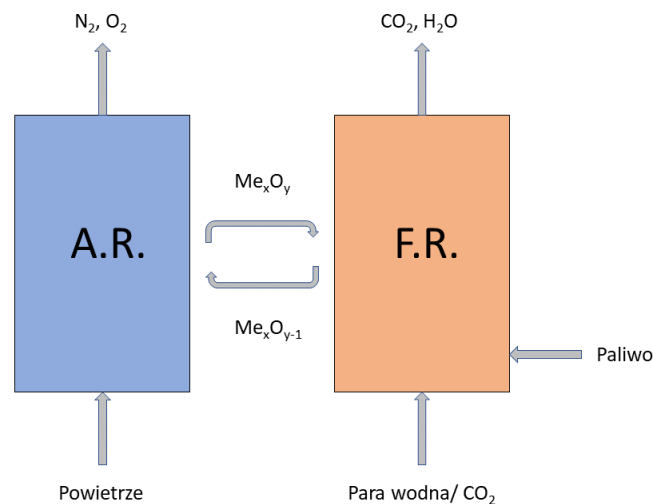
## ANALYSIS OF GLOBAL ACHIEVEMENTS IN THE FIELD OF RESEARCH ON CD-CLC

Zuzanna Skitaniak<sup>1</sup>, Ewelina Ksepko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny

<sup>2</sup>Politechnika Wroclawska, Katedra Chemii i Technologii Paliw

W obecnych czasach paliwa kopalne stanowią dominujący surowiec w branży energetycznej. Ich eksploatacja wiąże się jednak z emisją gazów cieplarnianych do atmosfery, co prowadzi do wielu negatywnych skutków, takich jak ocieplenie klimatu czy występowanie kwaśnych deszczy. Z tego powodu kluczową kwestią w rozwoju przemysłu energetycznego jest poszukiwanie i opracowywanie sposobów redukcji śladu węglowego w środowisku naturalnym. Technologia wychodzącą naprzeciw tym problemom jest spalanie węgla w chemicznej pętli tlenkowej CLC. Proces ten różni się od spalania paliwa prowadzonego w klasycznej elektrowni, a to za sprawą wprowadzenia tzw. stałego nośnika tlenu. W rezultacie, podczas procesu spalania otrzymywany jest czysty strumień CO<sub>2</sub> bez dodatkowych nakładów finansowych, co umożliwi jego sekwestrację, prowadząc do redukcji jego emisji do atmosfery. Ponadto, zastąpienie powietrza innym źródłem tlenu (stały nośnik tlenu) eliminuje problem powstawania niebezpiecznych gazów takich jak NO<sub>x</sub>.



Rys. 1. Schemat procesu spalania paliwa metodą CLC

Na rysunku 1 przedstawiono schemat procesu CLC. Instalacja najczęściej składa się z dwóch reaktorów fluidalnych: regeneracji (AR – ang. *Air reactor*) i spalania (FR – ang. *Fuel reactor*). Strumień cząstek nośnika tlenu jest wprowadzany do FR, gdzie zachodzi reakcja pomiędzy paliwem a tlenem zawartym w tlenku metalu (paliwo ulega spalaniu), i wydzielane jest ciepło. Następnie zredukowany nośnik tlenu transportowany jest do AR, w którym następuje jego regeneracja, w wyniku reakcji utlenienia tlenem pochodzącym z powietrza. Powstały gaz wylotowy z reaktora spalania składa się w głównej mierze z CO<sub>2</sub> i pary wodnej, które można z łatwością rozdzielić (poprzez kondensację pary wodnej), uzyskując czysty strumień ditlenku węgla. Ilość generowanego ciepła w reakcjach redoks CLC jest identyczna z tą uzyskaną metodami klasycznymi [1].

Jako stały nośnik tlenu w metodzie CLC najczęściej stosowane są tlenki metali, takich jak np. Fe, Cu, Mn czy też Ni. Z powodu problemu konieczności oddzielenia cząstek zredukowanego tlenku metalu/metalu od popiołu z węgla, w przypadku spalania węgla wysokopopiołowych konieczne jest użycie taniego stałego nośnika tlenu. Dlatego obserwuje się, że często stosowanymi materiałami w badaniach procesu spalania w chemicznej pętli tlenkowej są ilmenit i naturalny hematyt.

Reakcje na granicy faz ciało stałe–ciało stałe (tj. nośnik tlenu–węgiel) zachodzą niezmiernie powoli, dlatego prowadząc proces spalania w pętli chemicznej węgla, konieczne jest jego uprzednie zgazowanie. Inne rozwiązanie technologiczne prowadzące do usprawnienia tego procesu polega np. na zastosowaniu tzw. nośników tlenu typu CLOU. Dzięki temu rozwiązaniu uzyskany karbonizat również może podlegać dalszej konwersji. Przy czym, w tym wypadku jest to możliwe w wyniku jego reakcji z O<sub>2</sub> w formie gazowej ponieważ jest on uwalniany ze struktury nośnika jedynie pod działaniem wysokich temperatur. Metoda bezpośrednia spalania węgla (CD-CLC – ang. *Coal direct chemical looping combustion*) umożliwia zatem osiągnięcie wysokiej wydajności spalania paliwa stałego.

Technologia spalania w chemicznej pętli tlenkowej w przeciągu ostatnich 15 lat zyskuje coraz większe zainteresowanie w instytucjach naukowych na świecie. Badania w tej dziedzinie prowadzone były między innymi w instytutach naukowych w Chinach, USA, Hiszpani, Holandii oraz Polsce. Początkowo metodą tą prowadzona była konwersja paliw gazowych, takich jak metan czy gaz syntezowy. W 2005 r. jej zastosowanie zostało rozszerzone również o spalanie paliw stałych. Prowadzono w tym zakresie testy na np. węglach kamiennych, brunatnych i antracytowych [2].

Badania nad metodą CD-CLC wciąż znajdują się w początkowej fazie rozwoju, na drodze którego stoi wiele wyzwań. Celem jest np. poprawa kontaktu między stałym nośnikiem tlenu a paliwem stałym. Istotne jest także poszukiwanie tanich i dostępnych surowców stałych nośników tlenu, posiadających dobre właściwości redoks, oraz nie stanowiących zagrożenia dla środowiska przyrodniczego.

## Literatura

- [1] Bhui B., Vairakannu P., *Prospects and issues of integration of co-combustion of solid fuels (coal and biomass) in chemical looping technology*. “J. Environ. Manage” 2019, Vol. 231, pp. 1241–1256, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.10.092.
- [2] Moghtaderi B., *Review of the recent chemical looping process developments for novel energy and fuel applications*. “Energy and Fuels” 2012, Vol. 26, No. 1, pp. 15–40, doi: 10.1021/ef201303d.

# OCENA ZASTOSOWANIA RÓŻNYCH ODPADÓW DO PRODUKCJI KOMPOZYTÓW SZTYWNEJ PIANKI POLIURETANOWEJ

## ASSESSMENT OF THE USE OF VARIOUS TYPES OF WASTE FOR THE PRODUCTION OF RIGID POLYURETHANE FOAM COMPOSITES

*Beata Zygmunt-Kowalska*

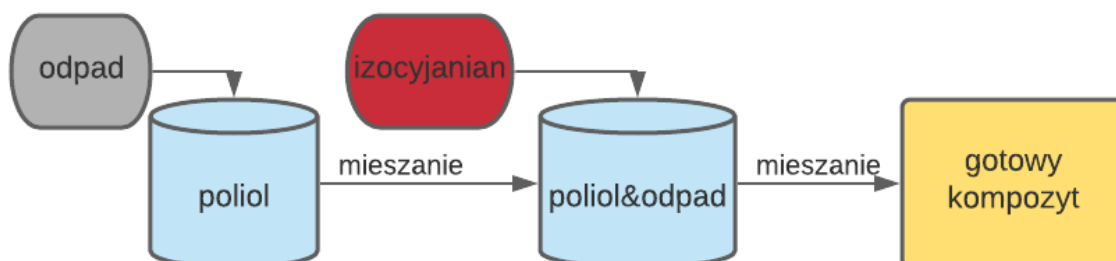
*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Katedra Techniki Ciepłej i Ochrony Środowiska*

Globalne ocieplenie, które prowadzi do dynamicznej zmiany klimatu i podwyższenia średniej wartości globalnej temperatury zmusza do poszukiwania alternatywnych metod wytwarzania i gospodarowania energią nie tylko w dużych zakładach przemysłowych, ale także w gospodarstwach domowych. Powyższe zjawisko w znaczny sposób przyczyniło się do rozwoju rynku materiałów termoizolacyjnych. Przykładem nowoczesnego materiału do izolacji cieplnej budynków jest sztywna pianka poliuretanowa – RPUF (ang. *Rigid Polyurethane Foam*) [1].

Pianka poliuretanowa jest najpopularniejsza na rynku materiałów termoizolacyjnych ze względu na swoje właściwości takie, jak: niski współczynnik przewodności cieplnej, mała gęstość pozorna, doskonała odporność chemiczna, a także bardzo dobre właściwości wytrzymałościowe. Ponadto RPUF znalazła zastosowanie w innych gałęziach przemysłu min. w przemyśle meblowym, samochodowym i sektorze kosmicznym [2].

Stale rosnące zapotrzebowanie na produkcję sztywnej pianki poliuretanowej wpłynęło na rozwój badań w tej dziedzinie. Ich celem jest redukcja kosztów produkcji RPUF i zmniejszenie zużycia produktów petrochemicznych, przy jednoczesnej poprawie właściwości wytworzonych materiałów poliuretanowych. W tym celu dokonuje się modyfikacji RPUF różnymi metodami.

W niniejszej pracy dokonano przeglądu badań naukowych, które dotyczyły modyfikacji pianek poprzez zastosowanie wypełniaczy. Omawiane komponenty (wypełniacze), które dodawane są w procesie produkcji RPUF to odpady powstające w różnych gałęziach przemysłu. Ponadto zastosowanie produktów odpadowych w procesie produkcji materiałów poliuretanowych jest metodą zagospodarowania odpadów, które często są składowane i rzadko podlegają procesom recyklingu. W pracy dokonano porównia kompozytów RPUF z dodatkiem: popiołu lotnego ze spalania węgla kamiennego w złożu fluidalnym [3], skorupki jajka, popiołu z łusek ryżowych oraz celulozy z alg. Proces wykonania komponentów przedstawion na rys. 1.



Rys. 1. Proces produkcji kompozytów z wykorzystaniem odpadu

Przykład zmodyfikowanej przez popiół lotny pianki zobrazowano na rysunku poniżej (rys. 2). Na zdjęciu przedstawione zostały cztery kompozyty, które zawierały różny udział masowy wypełniacza w piance (od 5 do 20% dodatku popiołu lotnego). W pracy zestawiono również najważniejsze parametry uzyskanych

komponentów i porównano je ze sobą oraz dokonano oceny zasadności zastosowania danych wypełniaczy w technologii produkcji sztywnych pianek poliuretanowych.



Rys. 2. Przykładowe RPUF z dodatkiem wypełniacza (popiół lotny)

Na podstawie przeanalizowanych wyników stwierdzono, że zastosowane wypełniacze wpływają na wartość gęstości. Wszystkie przeanalizowane dodatki zwiększają gęstość pozorną sztywnej pianki poliuretanowej za wyjątkiem popiołu z łusek ryżowych, który zakłócił proces zarodkowania materiału i spowodował spadek wartości tego parametru. Na podstawie wyników zaobserwowano, że dodatek wypełniacza różnie wpływa na wartość wytrzymałości na ściskanie, przykładowo celuloza z alg powoduje, że wytrzymałość jest większa bądź równa wartości dla pianki wzorcowej (bez dodatku wypełniacza). W przypadku dodatku popiołu lotnego najlepszy parametr uzyskano dla RPUF z 10% dodatkiem, a pianka zawierająca 20% dodatku wykazywała gorsze parametry niż pianka wzorcowca. Oznacza to, że nie zawsze znaczna ilość wypełniacza wpłynie korzystnie na wytrzymałość na ściskanie. Modyfikowane pianki poliuretanowe badano metodą FTIR (spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera). We wszystkich analizowanych przypadkach widma RPUF z dodatkiem wypełniacza były zasadniczo takie same (niewielkie zmiany

w widmie sugerujące obecność wypełniacza w polimerze) jak widma matrycy wzorcowej pianki poliuretanowej co wskazuje, że struktura kompozytów nie uległa zmianie. W wyniku dokonanego przeglądu literatury stwierdzono, że stosowanie wypełniaczy w produkcji sztywnej pianki poliuretanowej może przyczynić się do poprawy właściwości kompozytu. W opinii autora przeglądu najbardziej obiecującym dodatkiem wydaje się popiół lotny ze spalania węgla kamiennego w złożu fluidalnym. W szczególności kompozyt zawierający 10% dodatek popiołu charakteryzuje się bardzo pożądanymi na rynku materiałami właściwościami. Ponadto zastosowanie tego rodzaju odpadu w technologii tworzyw sztucznych może stać koncepcją jego utylizacji. Warto podkreślić, że nie tylko rodzaj zastosowanego wypełniacza, ale także jego ilość ma ogromne znaczenia na charakter powstałego kompozytu.

## Literatura

- [1] Zhou Y. i in., *Heat transfer mechanism of concurrent flame spread over rigid polyurethane foam: Effect of ambient pressure and inclined angle*, “International Journal of Thermal Sciences” 2020, Vol. 155, 106403.
- [2] Członka S. i in., *Composites of rigid polyurethane foams and silica powder filler enhanced with ionic liquid*, “Polymer Testing” 2019, Vol. 75, pp. 12–25.
- [3] Kuźnia M. i in., *Fluidized bed combustion fly ash as filler in composite polyurethane*, “Waste Management” 2019, Vol. 92, pp. 115–123.



# BADANIA SPALANIA POLSKIEGO WĘGLA W UKŁADZIE SPRZĘŻONYM MIKROREAKTOR-GC Z ZASTOSOWANIEM PĘTLI CHEMICZNEJ I MIESZANIN TLENKÓW MANGANU

## STUDY OF POLISH HARD COAL COMBUSTION IN MICROREACTOR-GC WITH APPLICATION OF CHEMICAL LOOP AND MANGANESE-BASED

*Magdalena Szkuta<sup>1</sup>, Artur Krezlak<sup>1</sup>, Ewelina Ksepko<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny*

*<sup>2</sup>Politechnika Wroclawska, Katedra Chemii i Technologii Paliw*

Uważa się, że chemiczna pętla tlenkowa (CLC) jest obecnie jedną z najbardziej obiecujących technologii spalania paliw, umożliwiającą generowanie energii z jednoczesnym wydajnym wychwytem ditlenku węgla. Unika się bezpośredniego kontaktu powietrza z paliwem, dzięki czemu emisje CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> ze spalania paliw kopalnych w elektrowniach są znacznie zmniejszone. Po kondensacji wody powstaje czysty strumień CO<sub>2</sub>, który gotowy jest do sekwestracji.

Ważną rolę odgrywają w tym procesie tzw. stałe nośniki tlenu otrzymywane na bazie tlenków metali przejściowych. Kluczowym zadaniem nośnika tlenu jest przenoszenie tlenu do paliwa. Aby syntetyzowany materiał mógł być w praktyce stosowany jako stały nośnik tlenu, winien głównie:

- przenosić tlen,
- posiadać wystarczającą reaktywność zarówno z paliwem, jak i tlenem z powietrza,
- być odporny na działanie wysokich temperatur procesu,
- nie wykazywać tendencji do aglomeracji.

W pracy przedstawiono wyniki badań dla serii wybranych stałych nośników tlenu. Opisano metodę syntezy otrzymanych mieszanych tlenków żelaza i manganu dla których wyselekcjonowano dodatek tzw. materiał inerty. Otrzymane materiały scharakteryzowano przy pomocy kilku metod i urządzeń, w tym przy pomocy: mikroreaktora ze złożem stałym oraz GC, SEM i EDS. Otrzymane nośniki charakteryzowały się zadawalającą morfologią. Badania EDS wykazały, że obok w głównej mierze reaktywnego Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powstały różne struktury typu perowskitu i spinelu zawierające tlenki Fe-Mn.

Badania reaktywności nośników tlenu przeprowadzone w mikroreaktorze, wskazały jednoznacznie na ich redoksową reaktywność. Do ich analizy reakcji redukcji wykorzystano wyselekcjonowany węgiel kamienny Janina o niskiej zawartości popiołu i siarki oraz wysokiej wartości opałowej. Obliczenia teoretyczne pozwoliły na dobranie optymalnego stosunku masowego węgla do nośnika tlenu.

Badania dowiodły, że otrzymane nowe materiały (przyznany patent UE) wykazały zarówno właściwości CLC, jak i CLOU. Potwierdzono, że zsyntezowane nośniki są materiałami przyjaznymi dla środowiska i mogą być potencjalnie stosowane jako stałe nośniki tlenu w elektrowniach CLC zasilanych węglem kamiennym.



# WYKORZYSTANIE ENERGII WODY W STAROŻYTNYM RZYMIE

## THE POWER OF WATER IN ANCIENT ROME

*Iwona Feier*

*Uniwersytet Wroclawski, Wydział Nauk Historycznych i Pedagogicznych*

Energia wody stanowiła w 2019 r. 15,9% światowej produkcji energii [1]. Spośród krajów europejskich w pierwszej dziesiątce największych producentów energii hydroelektrycznej znalazła się tylko Norwegia [2]. Historia wykorzystywania energii wody do potrzeb cywilizacyjnych sięga jednak aż do czasów starożytnych. Starożytni Rzymianie znani są z udoskonalania zastanych osiągnięć budownictwa i techniki oraz z wprowadzania na swoich terenach unowocześnionych rozwiązań z tych dziedzin. I choć rzadko bywali pionierami, to nie można im odmówić innowacyjności (która niejednokrotnie wyrastała z pragmatyzmu). Proste rozwiązania wykorzystujące energię wody do zróżnicowanych celów stosowane przez Rzymian znane są zarówno ze źródeł historycznych, archeologicznych, jak i ze współcześnie stosowanych urządzeń.

Sieć wodociągowa zasilająca miasto Rzym rozwijana była na przestrzeni siedmiu wieków (od IV w. p.n.e. do III w.) [3]. To wystarczający okres, by zdać sobie sprawę z potęgi stworzonego systemu – ogromu wyzwań, które stwarzało zarządzanie taką siecią, oraz możliwości, które otwierało to przed administracją republikańską i cesarską na wielu polach – od inżynierii i innowacji, po politykę i propagandę.

Rzymski pragmatyzm przejawiał się w wykorzystaniu energii płynącej akweduktami wody do napędzania m.in. młynów zbożowych [4]. W ten sposób jedna instalacja (akwedukt) była w stanie zasilić Rzym w dwa najważniejsze elementy rzymskiej diety: wodę i mąkę, które dawały władzy lepszą kontrolę nad społeczeństwem niż wojsko. W podobny sposób energia wody była wykorzystywana w budownictwie, napędzając traki w tartakach oraz urządzenia do cięcia kamienia (np. marmuru) [5]. Kolejnym, choć pośrednim, wykorzystaniem energii powstałej w procesie dostarczania i wykorzystywania wody do różnych celów w Rzymie było stworzenie systemu ogrzewania centralno-podłogowego – tzw. hypocaustum, w którym ogrzane powietrze krążyło w terakotowych kanałach wpuszczonych w ściany term i łaźni rzymskich oraz pod podłogą tych pomieszczeń [6].

Choć Rzymianie nie dysponowali ani wiedzą, ani możliwościami wykorzystania energii wody, które mamy dziś, jednak zdołali stworzyć rozwiązania wykorzystujące ją do zaspokojenia wielu zróżnicowanych potrzeb, a ich pomysły i innowacje były wykorzystywane i modyfikowane przez kolejne stulecia po upadku Cesarstwa aż do dziś.

## Literatura

- [1] 2019 Hydropower Status Report, [www.hydropower.org](http://www.hydropower.org) (data pobrania: 31.10.2020), pp. 15.
- [2] 2020 Hydropower Status Report, [www.hydropower.org](http://www.hydropower.org) (data pobrania 31.10.2020), pp. 44-45.
- [3] Ashby T., *The Aqueducts of Ancient Rome*, “Oxford” 1935, pp. 10-11.
- [4] Wikander Ö., *Water-Mills in Ancient Rome*, “Opuscula Romana” 1979, Vol. 12, pp. 13-14.
- [5] Wilson A., *Machines, Power and the Ancient Economy*, “The Journal of Roman Studies” 2002, Vol. 92, p. 16.
- [6] Bean R., Olesen B.W., Kim K.W., *History of Radiant Heating & Cooling Systems Part 2*, “ASHRAE” 2010, Vol. 52, No. 2, pp. 50, 2010.

# ZAPOTRZEBOWANIE NA ENERGIĘ W PRZEMYŚLE BROWARNICZYM

## ENERGY DEMAND IN THE BREWING INDUSTRY

*Aleksandra Modzelewska<sup>1</sup>, Mateusz Jackowski<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny*

*<sup>2</sup>Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Bioprosesowej, Mikro i Nanoinżynierii*

Piwo towarzyszy człowiekowi już od czasów starożytnych, odgrywając znaczącą rolę w ludzkiej kulturze. Chcąc otrzymać piwo, należy przejść przez kolejne etapy warzenia:

- słodowanie i mielenie ziarna,
- otrzymanie zacieru,
- odfiltrowanie brzezki i jej gotowanie z dodatkami,
- fermentacja przy użyciu drożdży,
- leżakowanie i rozlew.

Recepta na piwo pozostaje niezmienna od lat, rozwijają się za to wykorzystywane w tym procesie technologie. Masowa produkcja piwa rozpoczęła się podczas rewolucji przemysłowej w XVIII i XIX wieku dzięki gwałtownemu rozwojowi technologii, aby krótko po tym piwo mogło stać się jednym z najpopularniejszych napojów, zrównując się w rankingach z kawą czy herbatą. W Polsce przemysł piwowarski zalicza się do najszybciej rozwijających się gałęzi gospodarki, a w ostatnich latach liczba nowo otwieranych browarów zauważalnie wzrasta.

Rozpatrując statystyki dla Unii Europejskiej, w 2019 roku znaleźliśmy się na podium producentów piwa. Polskie zakłady browarnicze w ubiegłym roku wyprodukowały w świat aż 3,9 miliarda litrów piwa, co stanowi 11% całkowitej europejskiej produkcji. W tym zestawieniu ustępujemy jedynie Niemcom, których produkcja, wynosząca 9 miliardów litrów, stanowi 25% europejskiego rynku piwa. Według raportu GUS spożycie piwa w drugiej dekadzie XXI wieku wyniosło ok. 90 litrów rocznie per capita. Obecnie w Polsce funkcjonują cztery główne grupy piwowarskie: Carlsberg Polska, Kompania Piwowarska, Van Pur oraz Grupa Żywiec, posiadające ok. 90% rynku piwa. Dodatkowo funkcjonuje aż 255 browarów stacjonarnych oraz kilkadziesiąt browarów kontraktowych.

Aby powstało piwo, jego składniki muszą przebyć długą drogę przez szereg komponentów wchodzących w skład browaru, a podczas tego procesu potrzebne są znaczne nakłady energii. Biorąc pod uwagę jedną z największych grup piwowarskich – Grupę Żywiec i dane pochodzące z PGE Obrót S.A, roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną do produkcji piwa wynosi około 70 GWh – jest to wielkość porównywalna do rocznej ilości energii zużywanej przez miasto wielkości Legnicy lub Słupska (niecałe 100 000 mieszkańców). Na co zużywana jest ta energia?

To, czy dany etap procesu produkcji piwa się powiedzie, jest zwykle ściśle uzależnione od ustalenia i utrzymania odpowiedniej temperatury. Woda przygotowywana do zacierania, czyli do zmieszania z ześrutowanym sładem, musi być podgrzana do temperatury najczęściej przekraczającej 65°C. Kolejna duża dawka energii cieplnej potrzebna jest podczas chmielenia na ciepło, kiedy piwo musi osiągnąć temperaturę wrzenia przez odpowiednio długi czas, a następnie, w zależności od rodzaju przeprowadzanej fermentacji – należy dostarczyć lub odprowadzić odpowiednią ilość ciepła, odpowiednio podnosząc lub obniżając temperaturę. Stąd też największe zapotrzebowanie na energię dotyczy przede wszystkim procesów ściśle powiązanych z odpowiednim dobieraniem temperatury – ok. 45% całości spożytkowanej energii.

W browarze muszą zajść także liczne procesy mechaniczne, takie jak śrutowanie słodu czy filtracja. Piwo należy również „doprawić”, dodając odpowiednie ilości wybranych odmian chmielu. Na te etapy produkcji szacuje się zużycie ok. 17% energii. Zapelnienie kadzi gotowym, aromatycznym piwem nie jest niestety końcem całego procesu. Kolejne 30% całkowitej energii jest wykorzystywane do tego, aby przygotowany napój mógł być rozlewany do butelek, puszek lub kegow. Niekiedy w celu zapewnienia trwałości produktu, piwo musi być

pasteryzowane w wysokiej temperaturze. Przed wyruszeniem na półki sklepowe konieczne jest także naklejenie odpowiednich etykiet oraz zapakowanie przygotowanych opakowań. Kolejne nakłady energii (8%) potrzebne są także podczas magazynowania surowców i produktów oraz do innych celów pozaprodukcyjnych (rys. 1).

#### % spożytkowanej energii:



Rys. 1. Procentowe zużycie energii na poszczególnych etapach produkcji piwa

## Literatura

- [1] Kunze W., *Technologia Piwa i Słodu*, „Wyd. Piwochmiel” 1999.
- [2] Artykuł internetowy pt. *Polskie piwo w 83 procentach produkowane z energii odnawialnej*, źródło: <https://www.gramwzielone.pl/trendy/10801/polskie-piwo-w-83-procentach-produkowane-z-energii-odnawialnej>.
- [3] Strona internetowa *Happy International Beer Day!*, źródło: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/EDN-20200807-1>.
- [4] Wojtyra B., Grudzień Ł., *Rozwój przemysłu piwowarskiego w Polsce w okresie tzw. piwnej rewolucji w latach 2011–2016*, „Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego” 2017, Vol. 31, No. 1, pp. 52–67.

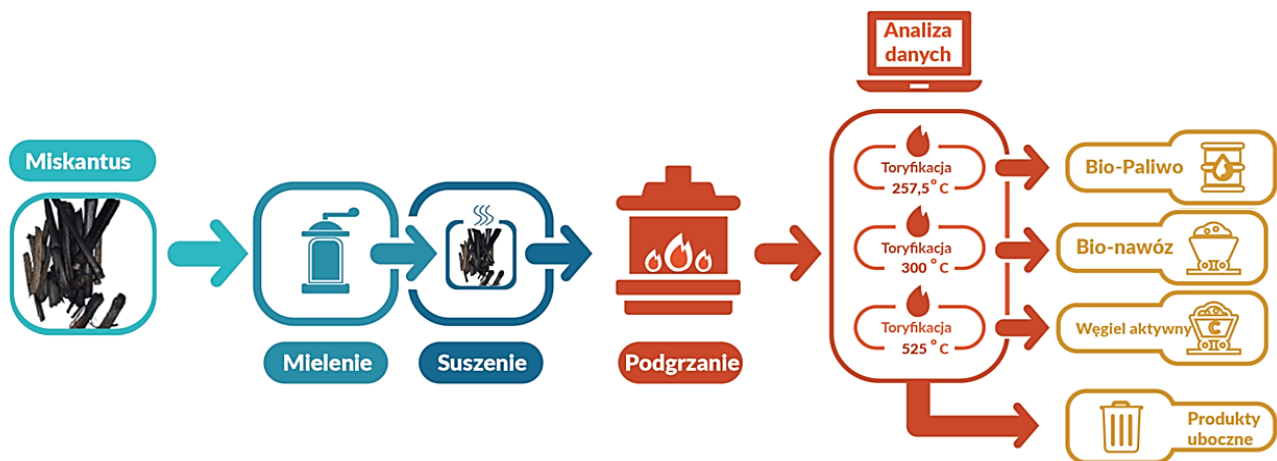
## ANALIZA PROCESU TORYFIKACJI MISKANTUSA

### ANALYSIS OF THE MISCANTHUS TORIFICATION PROCESS

Wiktoria Lewandowska, Szymon Szufa  
 Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

Biomasa to cała istniejąca na Ziemi materia organiczna, tzn. wszystkie substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego ulegające biodegradacji, czyli m.in. resztki z produkcji rolnej, pozostałości z leśnictwa, odpady przemysłowe i miejskie. Biomasa, pozyskiwana z upraw energetycznych wymaga przetworzenia przed ostatecznym wykorzystaniem. Poddawana jest ona procesom mającym na celu przygotowanie biomasy do wykorzystania jako paliwo. Oprócz suszenia, brykietowania, balotowania czy peletyzacji biomasa jest poddawana także procesom mającym na celu zmianę jej fizycznego charakteru oraz zmianę zawartości wilgoci. Jednym z takich procesów jest toryfikacja, to proces wstępnego, termicznego przetwarzania biomasy. Polega na termicznej obróbce biomasy w temperaturze rzędu 200–300°C w warunkach beztlenowych. Poprzez karbonizację biomasy w trakcie toryfikacji, biomasa uzyskuje właściwości, dzięki którym można ją upodobnić do węgla. Najważniejszymi parametrami tego procesu są temperatura i czas przebywania tzw. izoterma. Oba parametry są niezbędne do projektowania i budowy przemysłowych instalacji.

W pracy zostały przedstawione wyniki badań analizy termogravimetrycznej wykonywanej przy pomocy termogravimetru TG 209 F3 Tarsus firmy NETZCH. Wykonanie analizy polegało na ogrzewaniu próbki biomasy o masie około 10 mg do temperatur: 257.5, 300 i 525°C, z szybkością nagrzewu 5, 10 i 20 K/min, przy przepływie gazu obojętnego – azotu, z prędkością 20 ml/min. Czas przebywania próbki w termogravimetrze wynosił od 5 do 10 minut. Na rysunku 1 przedstawiono schemat instalacji do prowadzenia procesu toryfikacji.



Rys. 1. Schemat instalacji do prowadzenia procesu toryfikacji

Przeprowadzona analiza termogravimetryczna pozwoliła określić ubytki masy. Na podstawie tego parametru można określić optymalne warunki prowadzenia procesu toryfikacji tak aby w jak najkrótszym czasie uzyskać jak najmniejszy ubytek masy. Na podstawie uzyskanych wyników (spośród wykonanych ponad 300 analiz) określono, że optymalnymi parametrami do prowadzenia naszej procedury z wykorzystaniem miskantusa są następujące temperatury: 257,5°C (gdzie toryfikowana biomasa będzie wykorzystywana jako paliwo), 300°C (uzyskany produkt, będzie wykorzystywany jako dodatek do nawozu naturalnego) oraz 525°C (z możliwością wykorzystania jako węgiel aktywny), jest to temperatura wchodząca w zakres 400–600°C w której zachodzi oczekiwany proces. Czyli reasumując, gdy strata masy wynosi 30% wykorzystywana jest dla biopaliw, 50% dla dodatków do nawozów naturalnych i 75% dla węgla aktywnego.

LCA (Life Cycle Assessment) kieruje badaniami wpływu systemu produktów na środowisko w obszarze ekosystemu, zdrowia ludzkiego i zasobów odpadowych i opiera się na rzeczywistych danych wejściowych i wyjściowych danego procesu.

Praca ta wyraźnie wskazuje, że miskant jest bardzo interesującym materiałem zarówno pod względem produkcji peletów, jak i w dalszej przeróbce do produkcji biowęgla, wykorzystywanym nie tylko jako nośnik energii, ale także jako nowy produkt w mieszankach nawozowych, gdzie przedstawiony jest jako nośnik dla nawozów organicznych.

Nadrzędnym celem wykonywanych badań eksperymentalnych jest konwersja różnych rodzajów biomasy stanowiącej pozostałość z produkcji rolnej. Powstający w ten sposób biowęgiel może być wykorzystywany jako dodatek do nawozów organicznych dla rolnictwa. Badania realizuje w nowoczesnej bazie edukacyjnej Politechniki Łódzkiej, LabFactor należącego do Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska.

### **Podziękowania**

Serdeczne podziękowania pragnę skierować zespołowi projektu BIOCARBON: „Nowoczesna technologia toryfikacji biomasy do produkcji blendów paliwowych, biowęgla jako dodatku do nawozów oraz węgla aktywnego dla potrzeb energetyki, rolnictwa, budownictwa i przemysłu chemicznego”, finansowany z grantu LIDER IX NCBiR 2014-2020 (0155/L-9/2017).



# INŻYNIERIA DEFECTÓW W HKUST-1 DO CELÓW MAGAZYNOWANIA GAZÓW

## DEFECTS ENGINEERING IN HKUST-1 FOR GAS STORAGE

Marta Archutowska, Paulina Jagódka, Ewelina Ksepko  
Politechnika Wroclawska, Katedra Chemii i Technologii Paliw

HKUST-1 (znany również jako MOF-199) jest materiałem krystalicznym z grupy szkieletów metalo-organicznych (MOF). Po raz pierwszy został zsyntezowany przez Chui i innych w 1999 roku. Szkielet tworzą kationy miedzi połączone za pomocą linkerów benzeno-1,3,5-trikarboksylowych. HKUST-1 jest jednym z najczęściej badanych MOF-ów ze względu na swoją dużą powierzchnię właściwą i znaczną objętość porów. Uważa się, że bardzo obiecującym zastosowaniem HKUST-1 jest magazynowanie metanu oraz wodoru [1,2].

W ostatnich latach dużym zainteresowaniem w preparatyce struktur metalo-organicznych cieszy się inżynieria defektów. Przez długi okres twierdzono, że właściwości MOF związane są przede wszystkim z obecnością dobrze zdefiniowanych centrów aktywnych powstałych w wyniku uporządkowanego ułożenia ligandów i metali w szkielecie. Wykazano, że zniekształcone struktury MOF wykazują odmienne właściwości od ich macierzystych odpowiedników. DEMOF (ang. Defect-Engineering Metal Organic Framework) cechują się ulepszonymi właściwościami, takimi jak większą porowatością czy zwiększoną aktywnością katalityczną. W materiałach HKUST-1, o wzorze ogólnym  $[\text{Cu}_3\text{BTC}_2]$ , wprowadzenie defektów może być osiągnięte np. dzięki dodaniu do struktury zdefektowanych linkerów (ang. DL). Tego typu ligandy powodują zniekształcenie struktury krystalicznej HKUST-1, dając produkt o wzorze ogólnym  $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_{2-x}(\text{DL})_x]$  [2, 3].

Założeniem prowadzonych badań było otrzymanie materiałów o zwiększonej pojemności sorpcyjnej. Zsyntezowano materiały HKUST-1 metodą hydrotermalną i solwotermalną. Otrzymano także materiały typu HKUST-1<sub>def.</sub>, gdzie zdefektowanymi linkerami były kwas izofofalanowy, aminoizofofalanowy oraz nitroizofofalanowy w różnym stosunku stechiometrycznym do ilości wykorzystanego linkera benzeno-1,3,5-trikarboksylowego. Ponadto, część materiałów przygotowano z wykorzystaniem kwasu HBF<sub>4</sub>. Próbki zostały zbadane za pomocą proszkowej dyfraktometrii rentgenowskiej (PXRD) w celu określenia ich struktury krystalicznej.

## Literatura

- [1] Kuen-Song L. i in., *Synthesis and characterization of porous HKUST-1 metalorganic frameworks for hydrogen storage*, “International Journal of Hydrogen Energy” 2012, Vol. 37, No. 9, pp. 13865–13871.
- [2] Chong S. i in., *Excavating hidden adsorption sites in metal-organic frameworks using rational defect engineering*, “Nature Communication” 2017, Vol. 8, p. 1539.
- [3] Zhang W. i in., *Impact of synthesis parameters on the formation of defects in HKUST-1*, “European Journal of Inorganic Chemistry” 2017, Vol. 5, pp. 925–931.



# WYKORZYSTANIE ŚCIEKÓW Z PRZEMYSŁU SPOŻYWCZEGO DO PRODUKCJI BIOMASY MIKROALG PRZEZNACZONEJ NA CELE ENERGETYCZNE

## THE USE OF THE FOOD INDUSTRY WASTEWATER IN ALGAE BIOMASS PRODUCTION FOR ENERGY PURPOSES

*Karolina Dziosa, Monika Makowska*  
*Sieć Badawcza Łuikasiewicz-Institut Technologii Eksploatacji w Radomiu*

Do priorytetowych wyzwań, z którymi mierzą się państwa Unii Europejskiej, należą te związane z degradacją środowiska, nadmierną eksploatacją zasobów naturalnych i ich wyczerpywaniem oraz zmianami klimatu. Jednym z najważniejszych jest zbyt intensywne wykorzystanie zasobów naturalnych, czego przyczyną jest wzrost liczby ludności i rozwój gospodarczy. Przewiduje się, że do roku 2050 zużycie surowców zwiększy się niemal dwukrotnie, co jest związane z rewolucją w gospodarce odpadami. Wszystkie kraje członkowskie przechodzą od modelu gospodarki linearej, opartej na pobieraniu ze środowiska surowców, wytwarzaniu w dużych ilościach słabej jakości produktów i generowaniu odpadów, do gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ). Przejście do nowego modelu, w którym odpady, jeżeli powstają, są traktowane jako surowce, przyniesie wiele korzyści o charakterze środowiskowym, społecznym i gospodarczym. Dzięki temu znacznie zwiększy się efektywność wykorzystania zasobów naturalnych i zostanie ograniczony negatywny wpływ odpadów na środowisko. Znaczne możliwości dla właściwego zagospodarowania odpadów stwarza zastosowanie metod biotechnologicznych. Dzięki tym metodom możliwe jest przekształcanie odpadów, pochodzących z różnych gałęzi przemysłowych m.in. w bioprodukty, które mogą powtórnie zostać wykorzystane np. w energetyce.

Jednym z najszybciej rozwijających się działów gospodarki w Polsce, który generuje duże ilości ścieków jest przemysł spożywczy, a w szczególności przemysł mleczarski. Osady ściekowe z przemysłu mleczarskiego charakteryzują się wysoką zawartością substancji biogennej (azot i fosfor), które są niezbędne do życia dla mikroorganizmów. Dlatego też, jednym z rozwiązań zagospodarowania osadów ściekowych powstających w mleczarni jest ich wykorzystanie w procesie hodowli mikroalg. Uzyskana w ten sposób biomasa może zostać przekształcona po przeprowadzeniu procesów termicznych (np. pirolizy) w cenne bioprodukty, jak biowęgle, które można zastosować jako surowce biomasowe o wysokiej kaloryczności, nawóz, suplement do pasz dla zwierząt, materiał izolacyjny, wypełnienie mikrofiltrów i filtrów do uzdatniania wody oraz materiał sorpcyjny do odczyszczania wody.

Celem pracy było wytworzenie w wyniku procesu pirolizy biowęgla energetycznego z biomasy mikroalg hodowanych na ściekach z przemysłu mleczarskiego.

a)



b)

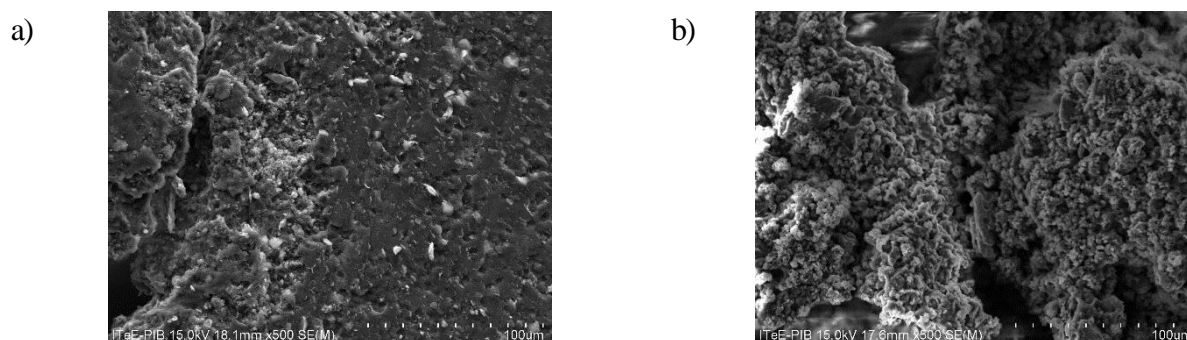


Rys. 1. Biomasa mikroalg: a) po wstępnym odwodnieniu, b) po procesie pirolizy (biowęgiel)

Hodowla alg była prowadzona w reaktorze laboratoryjnym, pracującym w systemie pracy okresowej przez ok. 30 dni w warunkach, zapewniających efektywny przyrost biomasy. Jako podłoże hodowlane zastosowano surowe ścieki mleczarskie pochodzące z mycia instalacji z lokalnej mleczarni o pH = 10. Co 3 dni wykonywano oznaczenia spektrofotometryczne substancji biogennej: azotu ogólnego, fosforu ogólnego. Przyrost biomasy mikroalg oceniano na podstawie pomiaru gęstości optycznej. Kolejny etap prac polegał na separacji cennej biomasy pochodzącej z podłoża oraz jej odwodnieniu.

Uzyskana biomasa mikroalg (rys. 1a) została poddana procesowi pirolizy (rys. 1b) przy zastosowaniu pieca FCF-V12RM z regulatorem PID MRT-4 firmy Czylok. Podczas ogrzewania i studzenia w komorze zastosowano jako gaz inertny ditlenek węgla (przepływ 5,0 dm<sup>3</sup>/min).

Zbadano strukturę oraz skład pierwiastkowy uzyskanego produktu z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego Hitachi SU-70 (SEM) oraz poddano go analizie termicznej z użyciem LABSystem SETARAM TG/DTA/DSC.



Rys. 2. Zdjęcie SEM: a) wysuszonej biomasy mikroalg b) biowęgla uzyskanego z wysuszonej biomasy mikroalg

Przeprowadzone badania potwierdziły możliwość zagospodarowania odpadów z przemysłu mleczarskiego jako podłoża hodowlanego dla mikroalg. W czasie trwania eksperymentu uzyskano ok. 40-procentową przyswajalność azotu ogólnego, ok. 96-procentową przyswajalność fosforu ogólnego w podłożu hodowlanym. Otrzymany w wyniku pirolizy biowęgiel charakteryzował się rozwiniętą powierzchnią właściwą co zostało przedstawione na rys 2.

Zaprezentowany sposób wytwarzania biowęgla oraz jego potencjał aplikacyjny mogą być odpowiedzią na aktualne problemy ochrony środowiska, które dotyczą łagodzenia skutków zmian klimatycznych, produkcji energii, poprawy właściwości gleby, gospodarki odpadami oraz oczyszczania wody zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Praca realizowana w ramach przewodu doktorskiego nt. „Badanie wpływu wybranych czynników abiotycznych na właściwości biomasy mikroalg przydatnych do wytwarzania biomateriałów” (Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej).

## Literatura

- [1] Joo-Sik K. i in., *Pyrolysis of lignocellulosic biomass for biochemical production*, “Waste Bio-refinery” 2019, Vol. 19, pp. 323–348.
- [2] Jeguirim M. i in., *Biomass chars: elaboration, characterization and applications*, “Energies” 2017, Vol. 10, 2040, doi:10.3390/en10122040.
- [3] Pilipiuk M, i in., *Wybrane rodzaje biomasy i ich właściwości energetyczne*, „Wybrane zagadnienia z zakresu ochrony środowiska i energii odnawialne” (materiały konferencyjne), Lublin 2016, s. 155–163.

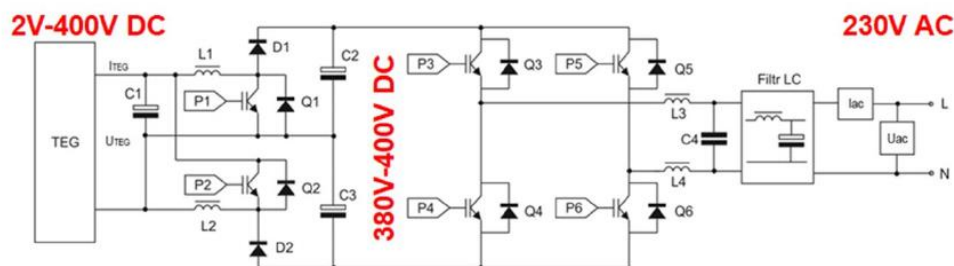
# PRZEKSZTAŁNIK ENERGEOELEKTRYCZNY DO WSPÓŁPRACY Z GENERATORAMI TERMOELEKTRYCZNYMI

## POWER ELECTRONIC CONVERTER FOR COOPERATION WITH THERMOELECTRIC GENERATORS

*Mirosław Mrozek, Andrzej Majcher, Mirosław Neska*

*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji, Zakład Automatyki i Systemów Sterowania*

Do bezpośredniej konwersji energii cieplnej w energię elektryczną wykorzystuje się generatory termoelektryczne TEG [1]. Nie posiadają one części ruchomych oraz cieczy roboczych, uruchamiają się bezzwłocznie, cechują się wysoką żywotnością (20–30 lat), mogą pracować w szerokim zakresie temperatur i w każdej pozycji. W wyniku różnicy temperatur  $\Delta T$  między okładzinami generatorów TEG powstaje wypadkowe napięcie  $U_{TEG}$ . Źródłem ciepła mogą być spaliny w kanałach kominowych, ciepło z kotłów parowych i wodnych, gorące ciecze chłodnicze procesów przemysłowych, gorąca woda lub para z upustów ciepłowniczych. Jedno ogniwo termoelektryczne może wytworzyć do 20 W mocy elektrycznej. Wartości takie osiągają ogniwa, w których różnica temperatur między stronami przekracza 300°C. Dla wartości  $\Delta T < 100^\circ\text{C}$  osiąmane moce nie są zazwyczaj większe niż 5 W, a napięcia generowane nie przekraczają 5 V [2]. W przypadku zastosowania termoogniwa do zasilania np. układu pomiarowego takie wartości są wystarczające. Wykorzystanie termoogniw do produkcji energii elektrycznej, oddawanej do publicznej sieci energetycznej, wymaga użycia wielu połączonych ze sobą ogniw oraz zastosowania odpowiedniego, dwustopniowego przekształtnika DC-AC (rys. 1).



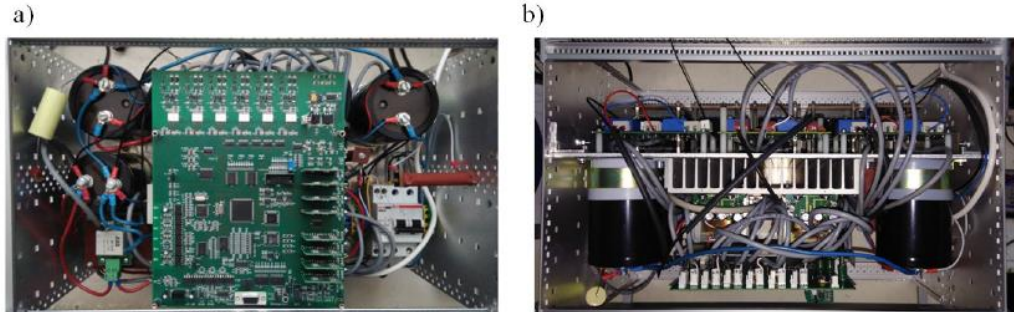
Rys. 1. Schemat dwustopniowego przekształtnika DC-AC

Pierwszy stopień ma za zadanie podwyższyć napięcie generowane przez termoogniwa z zakresu 2 V–400 V DC do napięcia 380 V...400 V DC. Tranzystor Q1 pracuje w układzie Boost, a tranzystor Q2 w układzie Buck Boost. Drugi stopień, złożony z czterech tranzystorów IGBT w układzie mostkowym, jest przekształtnikiem DC-AC generującym prąd o przebiegu sinusoidalnym. Sterowanie tranzystorami w obu stopniach realizowane jest przez modulację szerokością impulsu PWM. Odpowiednie sygnały (P1, P2, P3, P4, P5, P6) sterujące tranzystorami są wyliczane przez sterownik ścisłego czasu rzeczywistego na podstawie mierzonych wartości prądów i napięć. Dodatkowo sterownik posiada zaimplementowany algorytm śledzenia punktu mocy maksymalnej MPPT (ang. *Maximum Power Point Tracking*) [3].

Przekształtnik oddający energię elektryczną do publicznej sieci powinien posiadać współczynnik mocy PF (ang. *Power Factor*) bliski jedności. Przebieg generowanego prądu powinien być więc jak najmniej zniekształcony, dążąc do idealnego przebiegu sinusoidalnego, czyli nie zawierać wyższych składowych harmonicznych. Kąt przesunięcia fazowego między prądem a napięciem powinien wynosić 180°, ponieważ prąd ma być oddawany do sieci, a nie pobierany.

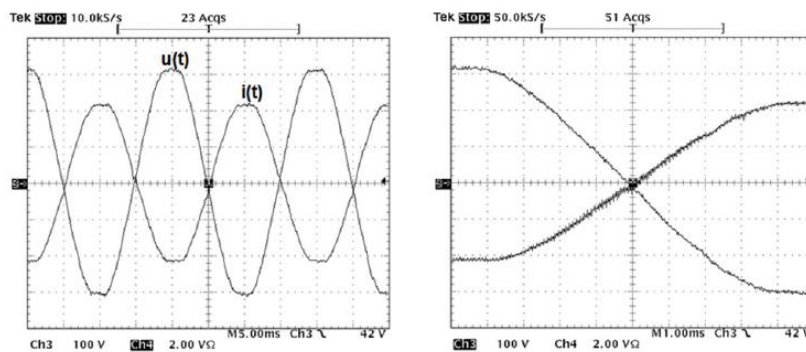


Opracowany i wykonany, autorski przekształtnik DC-AC o mocy nominalnej 1 kW (rys. 2) zweryfikowano w układzie z dwudziestoma modułami termoelektrycznymi (typ TEC1-12730), umieszczonymi w wymienniku ciepła.



Rys. 2. Widok zbudowanego DC-AC: a) część przednia ze sterownikiem,  
 b) widok z góry z widocznymi elementami mocy

Dla różnicy temperatur  $\Delta T = 85^\circ\text{C}$ , z dwudziestu szeregowo połączonych modułów, uzyskano  $P_{\max} = 84,5\text{ W}$ . Moc na wyjściu przekształtnika tj. od strony sieci była niższa ze względu na straty w przekształtniku (statyczne i dynamiczne) i wynosiła około 68 W. Dla większych mocy, bliskich mocy nominalnej przekształtnika, sprawność jest większa niż 90%. Uzyskany przebieg prądu generowanego do sieci przez przekształtnik DC-AC przedstawiony jest na rys. 3. Generowany prąd  $i(t)$  jest w przeciwfazie do napięcia sieci  $u(t)$  – kąt przesunięcia fazowego wynosi około  $177^\circ$ . Kształt prądu jest bardzo zbliżony do sinusoidy, wypłaszczenie prądu w wierzchołkach jest spowodowane wypłaszczeniem napięcia w sieci. Przekształtnik za wzorec sinusoidy przyjmuje przebieg napięcia w sieci. Przy przejściu przez zero napięcia sieci przekształtnik nie ma problemu z synchronizacją.



Rys. 3. Oddawanie energii do sieci przez przekształtnik wykonany w Ł-ITeE do współpracy z termogeneratorami TEG

## Literatura

- [1] Sztekler K., Wojciechowski K., Komorowski M., *The thermoelectric generators use for waste heat utilization from conventional power plant*, „E3S Web of Conferences” 2017, Vol. 14, 01031.
- [2] Jadwiszczok P., Sidorczyk M., *Produkcja energii elektrycznej z ciepła za pomocą ogniw, charakterystyki termoelektryczne termogeneratorów*, „Rynek instalacyjny” 2016, vol. 4, s. 38–42.
- [3] Zaremba A., Rodziejewicz T., Waclawek M., *Algorytmy śledzenia punktu mocy maksymalnej (MPPT) w systemach fotowoltaicznych*, „Proceedings of ECO” 2012, vol. 6, no. 2.

## WYSŁODZINY BROWARNICZE JAKO ALTERNATYWNE ŹRÓDŁO ENERGII

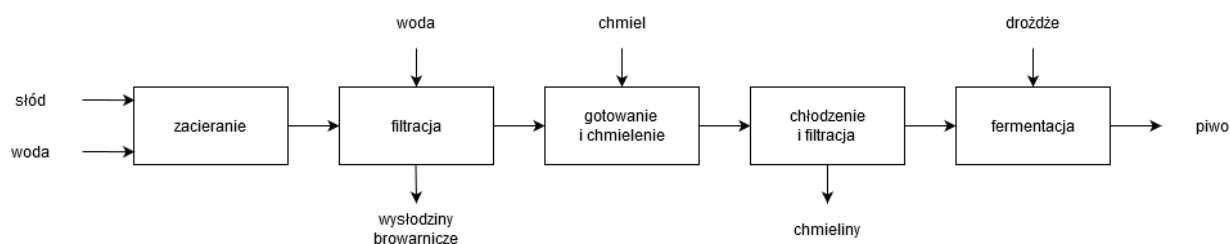
### BREWERS SPENT GRAIN AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF ENERGY

Kacper Jagiello<sup>1</sup>, Oliwia Uchańska<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny, Koło Naukowe „Gambrinus”

<sup>2</sup>Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Medycyny Weterynaryjnej

Wysłodziny browarnicze (ang. *Brewers spent grain* – BSG) są głównym produktem ubocznym powstającym w dużych ilościach podczas procesu produkcji piwa. Podczas warzenia piwa, w czasie procesu zacierania, część związków zawarta w słodzie (cukry, białka, lipidy itp.) przechodzi do tzw. brzezki. Następnie uzyskana w ten sposób mieszanina (brzezka + pozostałości stałe ze słodu) kierowana jest do procesu filtracji. Po oddzieleniu od brzezki, pozostałość stała nazywana jest właśnie wysłodzinami browarniczymi. Składają się one głównie z włókien celulozowych, hemicelulozowych, ligniny oraz wody. Najczęściej wykorzystuje się je jako dodatki paszowe dla zwierząt, głównie ze względu na słabą trwałość i szybki rozkład. Przez długi czas były niedoceniane na innych polach, jednak wiele najnowszych danych literaturowych wskazuje na możliwość wykorzystania ich jako potencjalnego źródła energii po poddaniu odpowiednim procesom technologicznym. Niniejsza praca stanowi propozycję obiecujących metod umożliwiających zastosowanie wysłodzin browarniczych jako alternatywnego źródła energii.



Rys. 1. Uproszczony schemat produkcji piwa

Hydrotermiczne uwęglanie (ang. *Hydrothermal carbonization* – HTC) jest procesem waloryzacji termicznej mającym na celu otrzymanie materiałów o dobrych właściwościach energetycznych. Surowiec poddawany jest temperaturze z zakresu 200–260°C pod ciśnieniem wynoszącym równowartość ciśnienia pary nasyconej w określonej temperaturze przez około 150 min. Badania pokazują, że hydrowęgiel z młota browarniczego nadaje się zarówno do spalania, pirolizy, jak i zgazowania [1, 2]. Dalsze badania skupiające się na optymalizacji procesu pod kątem jakości produktu oraz nad wykorzystaniem powstającego biogazu i hydrowęgla mogą uatrakcyjnić wysłodziny jako potencjalny surowiec energetyczny.

Ze względu na dużą zawartość potencjalnych związków fermentacyjnych wysłodziny browarnicze nadają się jako surowiec do procesu biometanizacji. Dzięki zastosowaniu bakterii beztlenowych oraz odpowiednio przeprowadzonego procesu fermentacji, możliwe jest uzyskanie produkcji metanu na poziomie  $224 \pm 34$  L/g [3] lub biogazu na poziomie  $414 \pm 32$  L/kg [4] z całkowitą wydajnością między 75,9 a 83,0%. Przy zastosowaniu dwuetapowego procesu fermentacji przy produkcji biogazu [4] wstępna obróbka kwasem solnym (HCl) powoduje zwiększenie się wydajności wytwarzania biogazu [5], jednak wymaga zastosowania odpowiedniego typu aparatury kwasoodpornej oraz późniejszego zobojętnienia układu za pomocą wodorotlenku sodu (NaOH) co może przelożyć się bezpośrednio na koszty operacyjne i inwestycyjne procesu. Patrząc na rosnącą popularność na wykorzystywanie bioodpadów do produkcji energii, wysłodziny browarnicze wydają się obiecujące przy zastosowaniu jako surowiec do produkcji biogazu.

---

## Literatura

- [1] Jackowski M. i in., *Hydrothermal Carbonization of Brewery's Spent Grains for the Production of Solid Biofuels*. "Beverages" 2019, Vol. 5, No. 1, 12, doi: 10.3390/beverages5010012.
- [2] Olszewski M. P., Nicolae S. A., Arauzo P. J., Titirici M. M., Kruse A., *Wet and dry? Influence of hydrothermal carbonization on the pyrolysis of spent grains*, "J. Clean. Prod." 2020, Vol. 260, 121101, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121101.
- [3] Colussi I., Cortesi A., Gallo V., Vitanza R., *Biomethanization of Brewer's spent grain evaluated by application of the Anaerobic Digestion Model No.1*, "Environ. Prog. Sustain. Energy" 2016, Vol. 35, No. 4, pp. 1055–1060, doi: 10.1002/ep.12326.
- [4] Panjičko M., Zupančič G.D., Fanedl L., Logar R.M., Tišma M., Zelić B., *Biogas production from brewery spent grain as a mono-substrate in a two-stage process composed of solid-state anaerobic digestion and granular biomass reactors*, "J. Clean. Prod." 2017, Vol. 166, pp. 519–529, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.07.197.
- [5] Panjičko M., Zupančič G.D., Zelić B., *Anaerobic biodegradation of raw and pre-treated brewery spent grain utilizing solid state anaerobic digestion*, "Acta Chim. Slov." 2015, Vol. 62, No. 4, pp. 818–827, doi: 10.17344/acsi.2015.1534.



# ULTRAFILTRACYJNE OCZYSZCZANIE CIEKŁEJ FRAKCJI POFERMENTU Z BIOGAZOWNI ODPADÓW KOMUNALNYCH Z UŻYCIEM PŁASKICH MEMBRAN CERAMICZNYCH

## ULTRAFILTRATION PURIFICATION OF LIQUID FRACTION OF THE DIGESTATE FROM MUNICIPAL WASTE BIOGAS PLANT USING FLAT CERAMIC MEMBRANES

*Agnieszka Urbanowska, Małgorzata Kabsch-Korbutowicz  
Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska*

Niezwykle istotnym zagadnieniem związanym z funkcjonowaniem biogazowni odpadów komunalnych jest prawidłowa gospodarka masą pofermentacyjną (pofermentem). Substancja ta jest produktem ubocznym (odpadem) powstającym przy wytwarzaniu biogazu. Ze względu na rodzaj surowców używanych w produkcji w biogazu, źródła ich pochodzenia oraz stosowane technologie fermentacji, zarówno właściwości fizyczno-chemiczne pofermentu, jak i możliwości dalszego ich wykorzystania mogą być zróżnicowane. W związku z tym, iż zagospodarowanie uwodnionego pofermentu jest kłopotliwe zarówno pod względem logistycznym, inwestycyjnym, jak i prawnym, z roku na rok wzrasta zainteresowanie nie tylko instalacjami do produkcji biogazu ale i z przetwarzaniem pofermentu. Rozwiązaniem tego problemu może być separacja pofermentu na frakcję stałą i ciekłą, przy czym frakcja ciekła stanowi zwykle 90–95% całkowitej masy pofermentacyjnej. Ze względu na to, iż poferment traktuje się nie tylko jako alternatywny nawóz, ale jako źródło wody, wymaga on oczyszczenia. Przydatna w tym zakresie może być ultrafiltracja (UF) poprzedzona procesem sedymentacji [1, 2].

Badania przeprowadzono dla ciekłej frakcji pofermentu pochodzącego z biogazowni odpadów przetwarzającej frakcję organiczną odpadów komunalnych o następujących właściwościach: chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT) = 6190 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, pięciodobowe biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT<sub>5</sub>) = 2170 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, stężenie rozpuszczonego węgla organicznego (RWO) = 3050 g C/m<sup>3</sup>, sucha pozostałość = 18090 g/m<sup>3</sup>.

W badaniach określono skuteczność oczyszczania ciekłej frakcji pofermentu w procesie sedymentacja-UF przy użyciu płaskich membran ceramicznych (Tami Industries) wykonanych ZrO<sub>2</sub> o granicznej rozdzielczości (*cut-off*) 15 i 50 kDa. Charakterystykę testowanych membran zestawiono w tab. 1.

Tabela 1. Charakterystyka testowanych membran

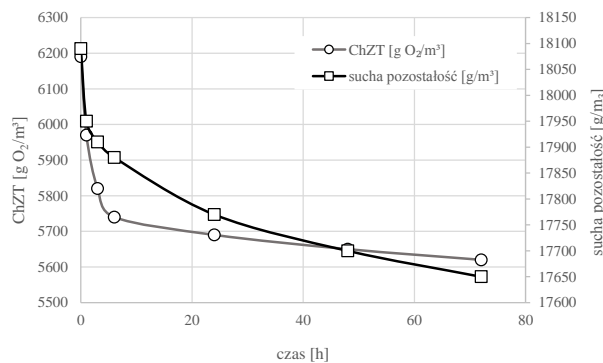
cut-off	Przeznaczenie	Warstawa aktywna	Powierzchnia filtracyjna	Grubość nominalna	Zakres pH	Maksymalne ciśnienie	Maksymalna temperatura
15 kDa	UF	ZrO <sub>2</sub>	56 cm <sup>2</sup>	2,5 mm	0–14	0,4 MPa	350°C
50 kDa	UF						

Proces sedymentacji prowadzono w reaktorze o objętości 2 dm<sup>3</sup>. W surowej ciekłej frakcji pofermentu oraz w próbach po upływie czasów sedymentacji 1, 3, 6, 24, 48 i 72 h oznaczono suchą pozostałość metodą wagową oraz ChZT metodą dwuchromianową.

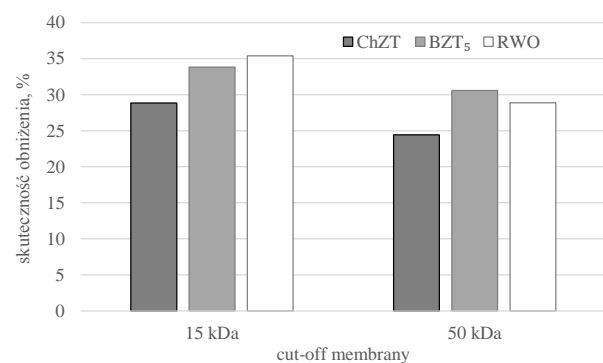
Badania nad oczyszczaniem ciekłej frakcji pofermentu w procesie ultrafiltracji przeprowadzono wykorzystując laboratoryjną instalację firmy Sterlitech z komorą ciśnieniową 316SS o pojemności 3,8 dm<sup>3</sup>. Komora ta jest przystosowana do pracy z płaskimi membranami ceramicznymi i pozwala na realizację procesu filtracji w układzie *cross-flow*. Ciśnienie transmembranowe stosowane w badaniach zawierało się w przedziale od 0,1 do 0,4 MPa. Skuteczność procesu określano poprzez pomiar ChZT, BZT<sub>5</sub> oraz RWO w próbkach przed

i po oczyszczaniu. Miarą podatności membran na blokowanie była wartość ich względnej przepuszczalności  $J/J_0$ , gdzie  $J$  oznacza strumień permeatu, a  $J_0$  strumień wody destylowanej nowej membrany.

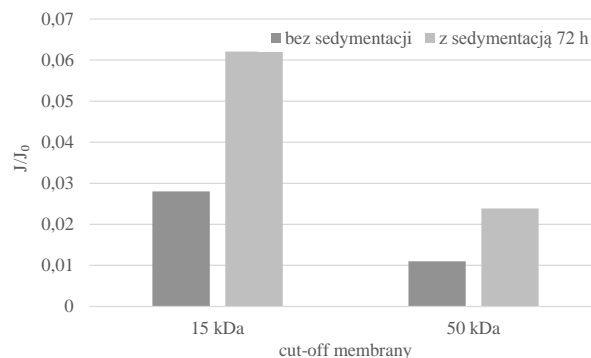
Przeprowadzone badania pokazały, że zastosowanie sedymentacji pofermentu pozwalała na istotne zmniejszenie zawartości zanieczyszczeń w roztworze (rys. 1). Analizując skuteczność oczyszczania ciekłej frakcji pofermentu w procesie sedymentacja-UF przy użyciu płaskich membran ceramicznych można stwierdzić, że testowane membrany mogą znaleźć zastosowanie w oczyszczaniu pofermentu, aczkolwiek wraz ze wzrostem wartości *cut-off* można było zaobserwować nieznaczne pogorszenie jakości pofermentu (rys. 2). Zastosowanie procesu sedymentacji przed ultrafiltracją pozwala nie tylko na poprawę końcowej jakości pofermentu, ale również na zmniejszenie intensywności blokowania membran (rys. 3).



Rys. 1. Wpływ czasu sedymentacji na skuteczność obniżenia ChZT i suchej pozostałości w ciekłej frakcji pofermentu



Rys. 2. Wpływ typu membrany na obniżenie ChZT, BZT<sub>5</sub> i RWO w ciekłej frakcji pofermentu w procesie sedymentacja-UF ( $\Delta p = 0,3$  MPa, czas sed. 72 h)



Rys. 3. Wpływ typu membrany na względną przepuszczalność membran w procesie sedymentacja-UF ( $\Delta p = 0,3$  MPa)

### Acknowledgements

The Authors would like to thank the European Commission, the National Centre for Research and Development (Poland), Nederlandse Organisatie Voor Wetenschappelijk Onderzoek (Netherlands) and Swedish Research Council Formas for funding in the frame of the collaborative international consortium (RECOWATDIG) financed under the 2018 Joint call of the WaterWorks2017 ERA-NET Cofund. This ERA-NET is an integral part of the activities developed by the Water JPI. National Centre for Research and Development agreement number WATERWORKS2017/I/RECOWATDIG/01/2019.

### Literatura

- [1] Baldé H. i in., *Methane emissions from digestate at an agricultural biogas plant*, “Bioresource Technology” 2016, Vol. 216, pp. 914–922, doi: 10.1016/j.biortech.2016.06.031.
- [2] Urbanowska A. i in. *Analysis of the pre-treatment efficiency of digestate liquid fraction from a municipal waste biogas plant*, “Environment Protection Engineering” 2019, Vol. 45, pp. 103–113, doi: 10.5277/epe190408.

# KINETYKA PROCESU SZYBKIEJ PIROLIZY WYSŁODZIN Z PRODUKCJI PIWA JĘCZMIENNEGO I PSZENICZNEGO

## FAST PYROLYSIS KINETICS FOR BREWERS SPENT GRAIN FROM BARLEY AND WHEAT BASED BEER

Mateusz Jackowski<sup>1</sup>, Łukasz Niedzwiecki<sup>2</sup>, Monika Tkaczuk-Serafin<sup>2</sup>, Anna Trusek<sup>1</sup>, Marcin Baranowski<sup>2</sup>,  
 Halina Pawlak-Kruczek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Bioprosesowej, Mikro i Nano inżynierii

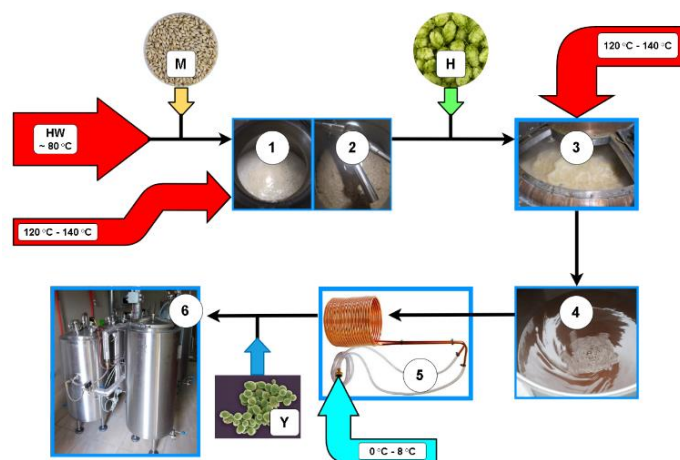
<sup>2</sup>Politechnika Wroclawska, Katedra Mechaniki, Maszyn, Urządzeń i Procesów Energetycznych

Piwo jest napojem, którego konsumpcja w krajach OECD utrzymuje się na stałym poziomie. W wyniku działalności przemysłu piwowarskiego powstają odpady, takie jak wysłodziny, które można racjonalnie wykorzystać.

Potencjalne wykorzystanie odpadów browarniczych w roli paliwa zostało już kilkakrotnie opisane [1]. Relatywnie duża wilgotność wysłodzin sugeruje, że wykorzystanie hydrotermalnej karbonizacji wydaje się rozsądnym wyborem w celu ich zagospodarowania [1]. Mokra torfikacja, zwana również hydrotermalną karbonizacją (HTC, ang. *Hydrothermal Carbonization*), to proces termicznego zagospodarowania odpadów. Najczęściej prowadzony jest w zakresie temperatur od 200 do 260°C w wodzie w warunkach nasycenia, pod zwiększonym ciśnieniem [2].

Najnowsze publikacje skupiają się na procesie karbonizacji wysłodzin [2]. Niemniej nie udało się znaleźć danych mówiących o tym, czy zasyp podczas zacierania jak i proces warzenia piwa mają wpływ na hydrotermalną karbonizację powstałych odpadów oraz na powstały w jej wyniku biowegiel. Celem przedstawionych badań jest określenie czy proces warzenia piwa ma jakikolwiek wpływ na parametry powstałego torfikatu oraz na proces ich pirolizy.

Obydwa badane piwa (pszeniczne i jęczmienne) zostały wyprodukowane z wykorzystaniem instalacji pilotażowej znajdującej się na Politechnice Wroclawskiej. Browar pozwala na produkcję do 1 hl piwa na szarżę produkcyjną z zachowaniem kontroli nad wszystkimi procesami jednostkowymi przedstawionymi na rys. 1.



Rys. 1. Schemat pilotażowej instalacji browarniczej ze szczególnym uwzględnieniem operacji jednostkowych wymagających ogrzewania lub chłodzenia. Dostarczanie ciepła oznaczono czerwonymi strzałkami, zaś dostarczenie medium chłodzącego oznaczono niebieską strzałką (1 – zacieranie; 2 – filtracja; 3 – gotowanie; 4 – odwirowanie brzezki; 5 – chłodzenie brzezki; 6 – fermentacja; M – słód; H – chmiel; Y - drożdże)

Hydrotermalna karbonizacja została przeprowadzona w autoklawie o objętości roboczej 4000 ml, mogącej wytrzymać temperaturę 200°C i ciśnienie 150 bar. wyposażonej w mieszkadło, które nie było wykorzystane podczas badań. W każdym eksperymencie użyto około 400 g suszonych wysłodzin, które po włożeniu do autoklawy zostały zalane wodą do oznaczonego poziomu, powyżej którego pozostało 500 ml wolnej przestrzeni. Po zamknięciu urządzenie zostało rozgrzane za pomocą płaszcza grzejnego. Temperatura była mierzona przez termoparę typu K połączoną z kontrolerem PLC.

Próbki nieprzetworzonych wysłodzin jak i tych poddanych karbonizacji zostały poddane analizie TGA/DTG za pomocą aparatu TGA/DT Pyris Diamond firmy Perkin Elmer. Dwustopniowy program analizy wyglądał następująco: w pierwszym etapie próbka została podgrzana do 105°C w tempie 10°C/min., a następnie przetrzymana w osiągniętej temperaturze przez 20 minut. W drugim etapie próbkę podgrzano do 900°C w tempie 10 °C/min. Do testów pirolizy użyto azotu o czystości 99,999% w roli gazu obojętnego. Do testów użyto cząstek o rozmiarach mniejszych niż 200 µm. Wyznaczając kinetykę procesu ustalono zachowanie wysłodzin podczas szybkiej pirolizy. Metoda Friedmana została użyta w celu określenia energii aktywacji.

Tabela 1. Parametry fizyko-chemiczne i energia aktywacji dla pirolizy wysłodzin oraz hydrokarbonizatów (VM – zawartość części lotnych; A – zawartość popiołu; FC – zawartość karbonizatu)

Próbka	Ea	VM	A	FC
	kJ/mol	% dry	% dry	% dry
Jęczmień – surowe wysłodziny	57,3	74,9	3,7	21,4
Jęczmień, 180°C, 10 min	56,2	63,3	3,6	33,0
Jęczmień, 200°C, 10 min	56,0	63,1	4,6	32,2
Jęczmień, 200°C, 60 min	55,7	60,2	3,8	36,0
Pszenica – surowe wysłodziny	59,1	76,5	3,1	20,4
Pszenica, 200°C, 10 min	60,9	65,6	2,9	31,5
Pszenica, 200°C, 60 min	53,5	59,5	4,2	36,3
Pszenica, 200°C, 120 min	56,0	61,5	4,5	34,0

Badania wykazały stosunkowo niewielkie różnice w energii aktywacji w przypadku pirolizy wysłodzin z piwa jęczmiennego, bez oraz z wykorzystaniem HTC. Jednocześnie dużo większe różnice w energii aktywacji uzyskano w przypadku pirolizy wysłodzin z piwa pszenicznego, przed i po HTC (tab. 1).

## Literatura

- [1] Jackowski M. i in. *Hydrothermal Carbonization of Brewery's Spent Grains for the Production of Solid Biofuels, "Beverages"* 2019, Vol. 5, No. 1, 12, doi: 10.3390/beverages5010012,
- [2] Jackowski M. i in. *HTC of Wet Residues of the Brewing Process: Comprehensive Characterization of Produced Beer, Spent Grain and Valorized Residues, "Energies"* 2020, Vol. 13, No. 8, 2058, doi: 10.3390/en13082058.

# BADANIA EKSPERYMENTALNE I NUMERYCZNE WPŁYWU POŁOŻENIA PRZYSŁON WIRNIKA VORTEX NA PARAMTERY PRACY POMPY O SWOBODNYM PRZEPIŁYWIE

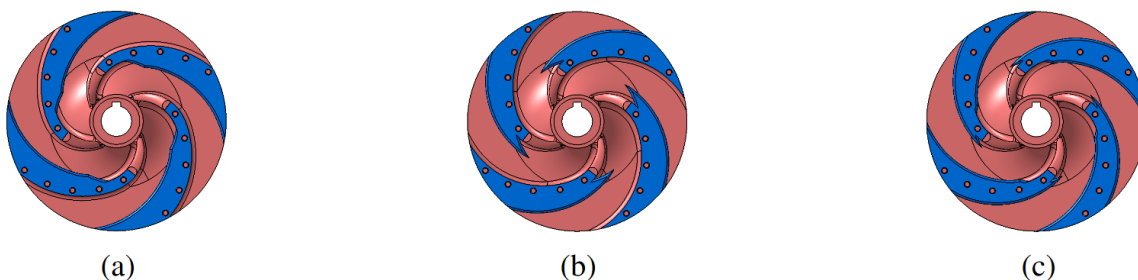
## EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDIES ON INFLUENCE OF WINGLETS PLACEMENT OVER VORTEX IMPELLER ON FREE-FLOW PUMP OPERATING PARAMETERS

*Artur Machalski*

*Politechnika Wroclawska, Katedra Mechaniki, Maszyn, Urządzeń i Procesów Energetycznych*

Jednym z bardziej popularnych typów pomp do hydrotransportu są pompy o swobodnym przepływie. Jednostki tego typu głównie stosowane są w gospodarce ściekowej. Pompy o swobodnym przepływie są to najczęściej konstrukcje jednostopniowe wyposażone w korpus spiralny z otwartym wirnikiem. Jak sama nazwa wskazuje pompy tego typu posiadają znaczną przestrzeń pomiędzy przednią ścianą spirali a wirnikiem. Głównym celem tej cechy konstrukcyjnej jest uzyskanie swobodnego przejścia od wlotu pompy do wylotu dyfuzora. Umożliwia to transport hydro-mieszanin z zawartością frakcji stałych o dużych rozmiarach. Wirniki w typowych pompach o swobodnym przepływie są wyposażone w łopatki promieniowe lub odgięte do tyłu, które poza typową pracą wirnika generują również dużą strefę recyrkulacji (wir), znajdującą się przed wirnikiem. Napływający do pompy płyn jest wtłaczany do silnie wirującej objętości a następnie ciecz transportowana jest wraz z ciałami stałymi, włóknistymi lub gazowymi do spirali i dalej do dyfuzora wylotowego.

Przepływ w tego typu konstrukcjach charakteryzuje się wieloma strukturami wirowymi, które powodują znaczne obniżenie sprawności (nawet do 30% w porównaniu do typowych pomp odśrodkowych). Jednym ze sposobów stabilizacji przepływu jest zastosowanie częściowych przysłon wirnika, które ukierunkowują przepływ oraz zmniejszają straty objętościowe wywołane transferem wody nad łopatkami wirnika. Dostępna literatura definiuje uproszczony algorytm projektowania typowego wirnika Vortex – bez przysłon [1][2]. Niestety, ale w przypadku wirników z przysłonami (Super Vortex) brakuje jednoznacznej koncepcji ich projektowania. Dlatego też zasadne jest przeprowadzenie badań wpływu parametrów konstrukcyjnych tego typu wirników na pracę pompy.



Rys. 1. Procentowe zużycie energii na poszczególnych etapach produkcji Przysłony wirnika dla współczynnika przysłonięcia 33% po stronie: (a) biernej, (b) czynnej, (c) obustronne

W celu weryfikacji wpływu lokalizacji przysłon na parametry pracy zdecydowano się przeprowadzić badania dla trzech różnych stopni przysłonięcia wirnika (25%, 33% oraz 40%) oraz trzech różnych lokalizacji przysłon względem łopatki wirnika: biernej, czynnej oraz obustronne (rys. 1).

W celu przeprowadzania pomiarów pomp zatapialnych z przysłonami zbudowane zostało stanowisko badawcze wyposażone w dwa manometry (prężny oraz cyfrowy), przepływomierz oraz falownik (rys. 2). Na stanowisku zamontowano pompę zatapialną wyposażoną w komorę spiralną zamykaną pokrywą z otworem

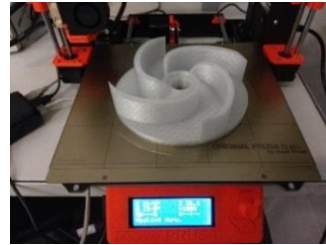


wlotowym – co ułatwiało wymianę przysłon wirnika. Nominalne parametry pompy dla bazowego wirnika (bez przysłon) wynoszą  $Q_n = 50 \text{ m}^3/\text{h}$  oraz  $H = 16,5 \text{ m}$ .

Wirnik oraz różne konfigurację przysłon wytworzono przy użyciu drukarki 3d w technologii FDM. Do wydruku wykorzystano materiał PETG (rys. 3).

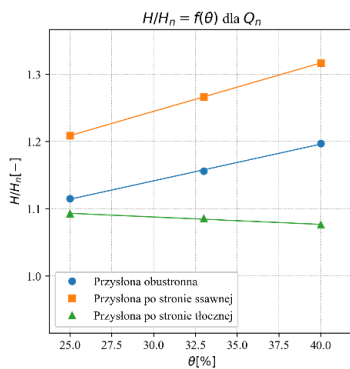


Rys. 2. Stanowisko pomiarowe do pomp zatapialnych

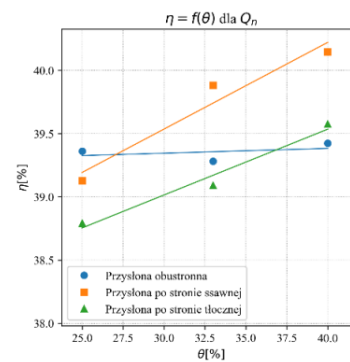


Rys. 3. Wirnik wydrukowany w technologii FDM

Wyniki pomiarów dla wszystkich zestawów przysłon odczytane dla nominalnego przepływu przedstawiono na wykresach poniżej. Wartości wysokości podnoszenia są wartością względną odniesioną do nominalnej wysokości podnoszenia wirnika bazowego (bez przysłon).



Rys. 4. Stanowisko pomiarowe do pomp zatapialnych



Rys. 5. Wirnik wydrukowany w technologii FDM

Dodatkowo w celu dokładniejszej identyfikacji struktur wirowych powstających przy badanych konfiguracjach przysłon zdecydowano się przeprowadzić symulacje numeryczne z wykorzystaniem oprogramowania OpenFOAM. Bazując na pracy [3] wybrano model turbulencji kOmegaSST.

Wyniki symulacji przedstawione zostaną w artykule jako rozwinięcia przekrojów cylindrycznych wirnika dla dwóch średnic.

Podsumowując wyniki pomiarów oraz symulacji można wyciągnąć jednoznaczny wniosek, iż zmniejszenie transferu wody nad górną częścią łopatek poprzez zastosowanie przysłon poprawia podstawowe parametry pracy pompy. Wzrost sprawności zachodzi przy wszystkich konfiguracjach przysłon, przy czym przysłony po stronie ssawnej dały najlepsze wyniki.

Dalsze prace nad optymalizacją kształtu przysłon wirnika powinny koncentrować się na uzyskaniu jak największego wzrostu parametrów i sprawności pompy przy zachowaniu maksymalnego swobodnego przelotu. Ponadto konieczne jest przetestowanie różnych typów wingletów wirnika, np. ze stałą szerokością lub różnymi kątami  $\beta$  zarówno łopatek jak i samych przysłon.

## Literatura

- [1] Rüttschi K., *Die Arbeitsweise von Freistrompumpen*. “Schweizerische Bauzeitung”, 1968.
- [2] Gülich J.F., *Centrifugal Pumps*. 2<sup>nd</sup> edition, “Springer” 2010, Rozdział 8, pp. 439–506.
- [3] Krishtop I., German V., Gusak O., Lugova S., Kochevsky A., *Numerical Approach for Simulation of Fluid Flow in Torque Flow Pumps*, “Applied Mechanics and Materials” 2014, Vol. 630, pp. 43–51.



# THERMAL PLASMA APPLICATION FOR WASTE PROCESSING

*Alfred L. Mosse*

*Belarus National Academy of Sciences, Luikov Heat and Mass Transfer Institute*

The increasing amount of toxic waste is a serious ecological hazard. Its composition is various. In most cases the wastes contain toxic substances that need special utilization.

Considerable attention in recent years is given to processing of different forms of household, industrial, and special trash. One can name toxic industrial withdrawals, which contain chlorine, fluorine, bromine and other substances, pesticides and chemical poisons with the past period of aptitude, liquid and solid radioactive wastes, medical and biological, conversion withdrawals, which are generated upon the liquidation of armament and others.

One of the most promising ways of solving this problem is the plasma processing of wastes. It is characterized by significant reduction of wastes. Any complex organic and inorganic compounds can be intensively destructed in plasma with high temperature. Melting of ashes allows obtaining thermal, chemical and deactivated forms of glasses or ceramics. For verification of wastes (ashes) the thermal plasma is generated in electric-arc plasma torches with bulk temperature up to 6000 K.

As we can see, there are a lot of different types of waste: gaseous, liquids, powders and solid packed waste. That's why they need special technology for treatment by using different types of plasma units. Thus, gaseous waste can be treated in plasma reactor as well as dispersed materials and solutions. The plasma reactors with a multijet mixing chamber are characterized in certain cases by fairly uniform temperature and velocity profiles in the initial section of the channel, i.e., in the plane of plasma jet injection, by the possibilities of organizing an axisymmetric or distributed injection of raw material components treated, and of raising the reactor power by increasing the number of plasma generators and the unit power of each of term. Other merits of the plasma reactors of such type include the possibility of arranging singl, two-, and multijet (multimodule) reactor circuits, based on the multijet mixing chamber.

Solid lump or packed wastes can be treated in plasma furnaces. The furnaces realize the most effective method for thermal treatment and disposal of various toxic industrial, medical and radioactive wastes by vitrification. The method concludes the incineration and melting of waste ash-mineral residue within the glass matrix. The melt product is unloaded by casting into separate vessels removed for disposal after the glass cooling and crystallization. The last is the most inert form for such waste disposal.

The furnace is heated up to the melt temperature of 1700°C by means of electric arc plasma torches. Liquid fuel jets also can be used together with plasma torches. Instead of fuel some of liquid toxic-organic wastes may be used and combusted for disposal. Provided by the special low-temperature glassing materials the process may be realized at 800–900°C for some galvanic-metallurgical wastes treatment.

Plasma shaft and chamber furnaces were designed. Plasma shaft furnaces have great capacity (over 200 kg/h and more). They are used at central combustion plants. In cases when it's not necessary to treat a great volume of wastes, for example in hospitals and clinics, scientific laboratories, it is justified to use small chamber plasma furnace.



# **VII SESJA REFERATOWA**

**PROCESY SPALANIA I CFD  
– TEORIA I PRAKTYKA**

**COMBUSTION PROCESSES  
AND CFD – THEORY AND PRACTICE**



# TEMPERATURE, PRESSURE AND INERT GAS INFLUENCE ON PROPAGATION VELOCITY OF PROPANE-AIR LAMINAR FLAMES

Maria Mitu<sup>1</sup>, Venera Giurcan<sup>1</sup>, Codina Movileanu<sup>1</sup>, Domnina Razus<sup>1</sup>, Dumitru Oancea<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Romanian Academy, “Ilie Murgulescu” Institute of Physical Chemistry

<sup>2</sup>Department of Physical Chemistry, University of Bucharest

The flame propagation in the stoichiometric propane-air gaseous mixture diluted by Ar, N<sub>2</sub> or CO<sub>2</sub> was studied by means of dynamic pressure records of explosions in a spherical vessel with central ignition. The measurements have been performed at constant initial composition (4.03 vol.%) of propane-air with 10 vol.% added diluents (Ar, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), various initial pressures between 0.5 and 2.0 bar and various initial temperatures between 300 and 423 K. The propagation velocities were calculated from the normal burning velocities, determined from the constants of cubic law of pressure rise in the incipient stage of flame development, under the isothermal compression model [1]. The propagation velocities obtained from experimental data are examined against the propagation velocities obtained by the kinetic modelling of flame propagation, using COSILAB 1D package and GRI 3.0 mechanism [2]. For both data sets, CO<sub>2</sub> has the highest inerting effect, followed by N<sub>2</sub> and Ar. Simple power law dependencies were used to describe the temperature and pressure influences on propagation velocities, for each composition of flammable mixtures. The thermal and baric coefficients, determined from these dependencies, may be used to predict the propagation velocities at pressures and/or temperatures different from ambient. The data form the basis of safety recommendations for reactors or plants where flammable mixtures of propane are formed.

## Literature

- [1] Giurcan V., Mitu M., Movileanu C., Razus D., *The temperature, pressure and dilution effect on laminar burning velocity of propane-air*, “Rev. Roumaine Chim.” 2016, Vol. 61, pp. 517–524.
- [2] COSILAB, Version 3.0.3. Rotexo-Softpredict-Cosilab GmbH & Co KG, Bad Zwischenhahn 2013.

# BURNING VELOCITIES OF CH<sub>4</sub>-N<sub>2</sub>O-N<sub>2</sub> MIXTURES. INFLUENCE OF INITIAL PRESSURE AND N<sub>2</sub> CONCENTRATION

Venera Giurcan<sup>1</sup>, Domnina Razus<sup>1</sup>, Maria Mitu<sup>1</sup>, Codina Movileanu<sup>1</sup>, Dumitru Oancea<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>“Ilie Murgulescu” Institute of Physical Chemistry  
<sup>2</sup>University of Bucharest, Department of Physical Chemistry

Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) is nowadays used in propulsion systems and supersonic testing facilities, and in synthetic chemistry, as oxidant or nitriding agent. Unfortunately, the handling, storage or use of pure N<sub>2</sub>O or of its mixtures with various fuels raises important safety issues, as a result of high exothermal effect of N<sub>2</sub>O decomposition. The flammable mixtures of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O request much interest, as both components are present in the complex gaseous mixtures generated by nuclear wastes in the dome space of storage tanks. In the present study the flame propagation in nitrogen-diluted CH<sub>4</sub>-N<sub>2</sub>O mixtures was monitored by pressure measurements during explosions in a spherical vessel with central ignition. Lean and stoichiometric CH<sub>4</sub>-N<sub>2</sub>O mixtures (equivalence ratios: 0.8 and 1.0) were examined, at various initial pressures, within 0.5 and 1.75 bar, and various nitrogen concentrations, within 40 and 60 vol. %. The flame propagation in the early stage of deflagration (restricted to pressure variations  $\Delta p \leq p_0$ , with  $p_0$  – the initial pressure) was characterized by constants of the cubic law of pressure rise. These constants were further used to compute the burning velocities of the examined systems according to the adiabatic compression model [1]. The laminar burning velocities derived from experimental data were examined against computed values, obtained with the package COSILAB [2] for free laminar premixed flames. For both data sets, the influence of initial pressure and N<sub>2</sub> content were discussed.

## Literature

- [1] Razus D., Oancea D., Movileanu C., *Burning velocity evaluation from pressure evolution during the early stage of closed-vessel explosions*, “J. Loss Prev. Process Ind.” 2006, Vol. 19, pp. 334–342, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.08.001>.
- [2] COSILAB. Version 3.0.3. Rotexo-Softpredict-Cosilab GmbH & Co KG, Bad Zwischenhahn, 2013.



# MAXIMUM EXPERIMENTAL SAFE GAP OF PROPANE-AIR: THE EFFECTS OF PRESSURE CHANGE AND OF INERT ADDITION

Codina Movileanu<sup>1</sup>, Domnina Razus<sup>1</sup>, Maria Mitu<sup>1</sup>, Venera Giurcan<sup>1</sup>, Dumitru Oancea<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Romanian Academy, “Ilie Murgulescu” Institute of Physical Chemistry

<sup>2</sup>University of Bucharest, Department of Physical Chemistry

The maximum experimental safe gap (MESG) of propane-air mixtures with various equivalence ratios and of stoichiometric propane-air mixtures diluted with inert gases (helium, argon, nitrogen or carbon dioxide) were measured at variable inert concentrations (0–20% vol.) and variable initial pressures (0.50–1.50 bar). The dependence of the maximum experimental safe gap on the total initial pressure, equivalence ratio and amount and nature of inert additive is discussed. The experimental maximum safe gaps were compared with MESG calculated from the experimental quenching distances, as previously discussed [1]. For mixtures with constant composition the MESG dependence on pressure was fitted by a simple power law and its coefficients were reported. The results, referring especially to pressures different from ambient, represent a useful characterization of inert-diluted propane-air mixtures, ready to be used for safety recommendations. Such recommendations are concerned with potentially incendiary electrical apparatuses for use in the presence of explosive gas atmospheres, which have to be specially designed to prevent the gas ignition. In this respect, the maximum experimental safe gap (MESG) is an important property, used to assign flammable gases and vapors to a certain explosion group, in accord to the directives of IEC [2] and of the European Union [3].

## Literature

- [1] Movileanu C., Mitu M., Giurcan V., Razus D., Oancea D., *Quenching distances, minimum ignition energies and related properties of propane-air-diluent mixtures*, “Fuel” 2020, Vol. 274, 117836.
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC), IEC60079-20-1, *Explosive Atmosphere–Part 20-1: Material Characteristics for Gas and Vapour Classification–Test Methods and Data*. International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland 2010.
- [3] DIRECTIVE ATEX 2014/34/EU *on the harmonisation of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres*.

# RISK ASSESSMENT OF EXPLOSIVE REACTIONS IN CONDENSED SYSTEMS USING ISOPERIBOLIC CALORIMETRY

Jeanina Pandele Cusu<sup>1</sup>, Adina Magdalena Musuc<sup>1</sup>, Dumitru Oancea<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Romanian Academy, "Ilie Murgulescu" Institute of Physical Chemistry

<sup>2</sup> University of Bucharest, Department of Physical Chemistry

The chemical reactivity hazards of energetic compounds have posed a significant challenge to their manufacturing, storage and transportation. The explosion risk due to the exothermic chemical reactions are very complex, so it is often not well understood. The exothermic reaction manifests itself in various forms and is influenced by the physical and chemical properties of the materials. Consequently, an adequate control of them is not possible. The risks caused by these chemical reactions can be: deflagration, detonation or even out-of-control reactions called runaway reactions [1, 2].

There are a lot of experimental techniques used to characterize and to evaluate the chemical reactivity of energetic compounds. Among them, the calorimetric methods are the most often used techniques to evaluate the hazards of such compounds. Calorimetric measurements provide a good understanding of energy content of a compound and its behavior under various conditions [3, 4].

In most cases, the oxidation processes which take place in condensed phases are characterized by an induction period, during which the reaction rate remains practically negligible [5]. Depending on the nature of the systems and the external conditions, an accumulation of reactive species and of reaction heat occurs during this time, resulting in a self-acceleration regime. Theoretically, an isothermal regime in which a self-acceleration is produced only as a result of an autocatalytic reaction, can be obtained. One of the most widely used instruments in which the stability and the energy of a condensed system are studied, are based on the principle of isoperibolic calorimetry [6].

This paper is focused on the measurements of the induction periods of two phenoxazones derivatives: 3-nitrobenzaldehyde-2-4-dinitrophenylhydrazone and 4-nitrobenzaldehyde-2-4-dinitrophenylhydrazone using isoperibolic calorimetry method. The results were compared with the ones obtained by differential scanning calorimetry [7]. The obtained thermodynamic and kinetic data are useful to predict the potentially hazardous reactions and the chemical reactive hazards.

## Literature

- [1] Gustin J.L., *Runaway reaction hazards in processing organic nitro compounds*, "Organic Process Research and Development" 1998, Vol. 2, pp. 27–33, doi: 10.1021/op970035s.
- [2] Wang Q., Wang J., Larranaga M.D., *Simple relationship for predicting onset temperatures of nitro compounds in thermal explosions*, "J Therm Anal Calorim" 2013, Vol. 111, pp. 1033–1037, doi: 10.1007/s10973-012-2377-4.
- [3] Mentado J., Mendoza E., *Calibration and testing of an isoperibolic micro-combustion calorimeter developed to measure the enthalpy of combustion of organic compounds containing C, H, O and N*, "Chem Thermodynamics" 2013, Vol. 59, pp. 209–213, doi: 10.1016/j.jct.2012.12.020.
- [4] Heldt K., Anderson H.L., *Application of an adiabatic precision calorimeter in the field of organic reactions*, "J Therm Anal Calorim" 1997, Vol. 49, pp. 663–670, doi: 10.1007/BF01996749.
- [5] Šimon P., *Induction Periods. Theory and applications*, "J Therm Anal Calorim" 2006, Vol. 84, pp. 263–270, doi: 10.1007/s10973-005-7204-z.
- [6] Mentado-Morales J., Hernández-Sánchez E., Regalado-Méndez A., Paralta-Reyes E., *An isoperibolic combustion calorimeters developed to measure the enthalpy of combustion of organic compounds*, "J Therm Anal Calorim" 2017, Vol. 127, pp. 2307–2314, doi: 10.1007/s10973-016-5758-2.



- 
- [7] Pandele Cusu J., Musuc A.M., Oancea D., *Kinetic analysis of thermal decomposition in liquid and solid state of 3-nitro and 4-nitro-benzaldehyde-2,4-dinitrophenylhydrazones*, “J Therm Anal Calorim” 2012, Vol. 109, pp. 255–263, doi: 10.1007/s10973-011-1662-y.

---

## EFFECT OF HYDROGEN AMOUNT ON NO<sub>x</sub> EMISSIONS AND PERFORMANCE PARAMETERS OF A CI ENGINE

*Ilker Turgut Yilmaz  
Marmara University*

The NO<sub>x</sub> emissions and performance parameters as brake specific energy consumptions, exhaust gas temperatures, thermal and volumetric efficiencies of a compression ignition engine were examined in this study. A four cylinder, four stroke, water cooled, turbocharged, Common-Rail compression ignition engine was used for tests. The original compression ratio of the test engine was lowered from 18.25 to 16.9. Tests were conducted at five different loads at constant 1750 rpm. About 10 lpm, 20 lpm, 30 lpm, 40 lpm and 50 lpm hydrogen was added to intake air. According to the test results hydrogen showed a reducing effect on NO<sub>x</sub> emissions. On the other hand, not only brake specific energy consumptions and exhaust gas temperatures increased but also thermal and volumetric efficiencies decreased with hydrogen addition. High exhaust gas temperatures of hydrogen doped tests were not enough for compensating the negative effect of gaseous fuels on volumetric efficiency.

# INTERNAL FLUE GAS RECIRCULATION SYSTEM IN THE GAS MICROTURBINE AS A WAY FOR THE CO-COMBUSTION OF HIGHER ENRICHED HYDROGEN FUEL

*Jean-Marc Fafara, Norbert Modliński*

*Wroclaw University of Science and Technology, Department of Mechanics, Machines and Energy Processes*

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 causes an increase of the specific heat of the gases present in the combustion, which has the effect of limiting the combustion temperature and therefore the 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 (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.

In order to assess the effectiveness of the proposed solution, theoretical numerically assisted studies will be 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 will then be 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, an internal exhaust gas recirculation system, as described above, will be developed. After implementing this solution into the combustion chamber reference model, simulations will be repeated to describe changes in the combustion process. Several improvements in the internal exhaust gas recirculation system model may be anticipated. Excel Microsoft was used to perform the calculations of the gas microturbine, Solid Edge is used to model the three-dimensional combustion chamber, and Ansys will be used to simulate the combustion process. The geometry of the reference and modified combustor will be meshed with the use of the Fluent meshing tools. The mesh will be achieved with polyhedral elements, with five boundary layers. Then, the obtained meshes will be implemented in the Fluent software, where will be used the following models: the energy equation will be activated, the realizable k-epsilon turbulence model will be used, the discrete ordinates radiation model will be implemented and flamelet non-premixed combustion model will be applied (with the use of the Gri-Mech chemical mechanism). The weighted-sum-of-gray-gases (WSGG) model will be 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.

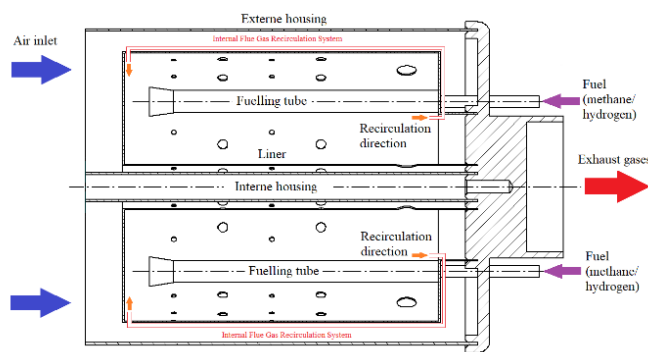


Fig. 1. Concept of internal exhaust gas recirculation system for gas microturbine

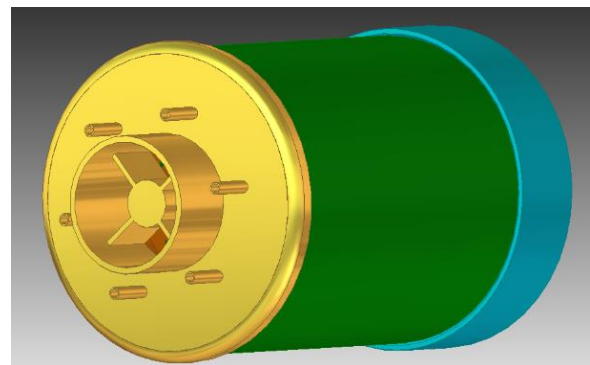


Fig. 2. Three-dimensional model of the reference combustion chamber for numerical investigation

## 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” 2019, Vol. 1.
- [3] Gieras M., *Miniaturowe silniki turbodrzutowe*, „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, Vol. 14, doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171401027>.



# COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS SIMULATION OF GAS-LIQUID MULTIPHASE FLOW IN T-JUNCTION FOR CO<sub>2</sub> SEPARATION

Sylvia Wrzesień<sup>1</sup>, Paweł Madejski<sup>1</sup>, Paweł Ziółkowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>AGH University of Science and Technology, Department of Power Systems  
and Environmental Protection Facilities

<sup>2</sup>Gdansk University of Technology, Department of Energy and Industrial Apparatus

In this study, numerical simulations of gas-liquid multiphase flow have been presented. Flow analysis was performed owing to the use of Computational Fluid Dynamics (CFD), with the application of Euler–Euler approach. The problem considers a water–carbon dioxide mixture flowing upwards in a duct and then splitting in a T-junction. The purpose of the calculations was to obtain streamlines, velocity, pressure and volume fraction distributions that could be useful to observe multiphase flow phenomena occurring in pipeline systems. In practical terms, phase separation is used in separators, including those for CO<sub>2</sub> capture [1]. Euler–Euler approach to multiphase flow modeling has been taken into account. The solution has been obtained using the mixture model. After completing calculations, the results have been analyzed by taking into consideration different values of carbon dioxide volume fraction.

T-junctions are found in a large number of pipeline systems. They may vary in the number of ducts and shapes. They are mainly used to direct the flow from the main branch into several ducts, which leads to the splitting of the stream. On the other hand, it can also be considered the opposite situation, where a few flow streams converge to a single pipe. Although many studies in this area have already been done, the aim was to understand the nature of gas-liquid multiphase flows in T-junctions, which is of critical engineering and scientific importance [2]. Another aspect is further curving of the shape to introduce centrifugal force and separate the two phases more efficiently.

The main purpose of the work is to determine the pressure velocity field and the shares of individual phases in the T-junction using the ANSYS Fluent code. The developed model can be used as a basis for the analysis of CO<sub>2</sub> separators in zero-emission and negative emission gas power plants.

The basic equations of fluid motion for each continuous phase can be obtained by first identifying the appropriate fundamental principles from conservation laws of physics, which are conservation of mass (1), Newton’s second law for the conservation of momentum (2) and first law of thermodynamics for the conservation of energy (3). These physical principles are later applied to a suitable model of the fluid flow, and the mathematical equations that embody such physical principles are eventually extracted from the model under consideration. Effective conservation equations for continuous phase are defined as below [2]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha^k \rho^k) + \text{div}(\alpha^k \rho^k \mathbf{v}^k) = \Gamma'^k \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha^k \rho^k \mathbf{v}^k) + \text{div}(\alpha^k \rho^k \mathbf{v}^k \otimes \mathbf{v}^k) \\ = -\alpha^k \text{grad} p^k - p^k \text{grad} \alpha^k + \text{div}(\alpha^k \boldsymbol{\tau}^k) - \text{div}(\alpha^k \boldsymbol{\tau}^{k''}) + \alpha^k \sum \mathbf{F}^{k, \text{body forces}} + \boldsymbol{\Omega}^k \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha^k \rho^k H^k) + \text{div}(\alpha^k \rho^k \mathbf{v}^k H^k) = p^k \frac{\partial \alpha^k}{\partial t} + \alpha^k \frac{\partial p^k}{\partial t} - \text{div}(\alpha^k \mathbf{q}^k) - \text{div}(\alpha^k \mathbf{q}_H^{k''}) + \alpha^k \sum \mathbf{F}^{k, \text{body forces}} \cdot \mathbf{v}^k + \Phi_H^{k''} \quad (3)$$

Advances in computational fluid mechanics have provided the basis for further insight into the dynamics of multiphase flows. Currently there are two approaches for the numerical calculation of multiphase flows: the Euler–Lagrange approach and the Euler–Euler approach.

The solutions have been obtained using third-order discretization for momentum, volume fraction and turbulence quantities. Different values of carbon-dioxide volume fraction have been taken into account, which is respectively: 0.05, 0.1, 0.15 and 0.2. These shares were determined on the basis of thermodynamic analyses of the zero-emission gas cycle with water injection and oxy-firing. The model allowed the determination of volume fractions, pressure fields, and velocity fields, but experimental verification is necessary in the future. Also, in order to separate gas from liquids more efficiently, it is recommended to introduce an arc to ensure the contribution of centrifugal force to the CO<sub>2</sub> separation process [3].

### Acknowledgments

Article has been prepared within the frame of the project: “Negative CO<sub>2</sub> emission gas power plant” – NOR/POLNORCCS/NEGATIVE-CO<sub>2</sub>-PP/0009/2019 the project is co-financed by POLNOR 2019 under the Norwegian Financial Mechanism 2014–2021.

### Literature

- [1] Ziolkowski P., Badur J., *A study of a compact high-efficiency zero-emission power plant with oxy-fuel combustion*, “Proceedings of the 32<sup>nd</sup> International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems – ECOS 2019” (Wroclaw, Poland, 23–28 June 2019), Institute of Thermal Technology, Silesian University of Technology, pp. 1557–68, 2019, available: <http://www.s-conferences.eu/ecos2019>.
- [2] Heng Yeoh G., Tu J., *Computational Techniques for Multi-Phase Flows*, “Elsevier Ltd.” 2010, pp. 351–354.
- [3] Komet S., Badur J., *Comparison of two models of condensation*, “PhD Interdisciplinary Journal 1” 2014, Vol. 1, pp. 193–203.

**VIII SESJA REFERATOWA**

**PALIWA ALTERNATYWNE  
I TECHNOLOGIE ENERGETYCZNE  
NOWEJ GENERACJI**

**ALTERNATIVE FUELS  
AND POWER TECHNOLOGIES**



## ANALYSIS OF SEWAGE SLUDGE WITH STRAW CO-FIRING ON THE BASIS OF THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS

Navaneethan Subramanian<sup>1</sup>, Paweł Madejski<sup>1</sup>, Halina Pawlak –Kruczek<sup>2</sup>, Michał Ostrycharczyk<sup>2</sup>, Monika Serafin-Tkaczuk<sup>2</sup>, Mateusz Kowal<sup>2</sup>, Amit Arora<sup>3</sup>

<sup>1</sup>AGH University of Science and Technology, Department of Power systems and Environmental Protection Facilities

<sup>2</sup>Wroclaw University of Science and Technology, Department of Mechanics, Machines, Devices and Energy Processes

<sup>3</sup>Shaheed Bhagat Singh State Technical University, Chemical Engineering Department

The main objective of this study is analysis of co-firing sewage sludge with straw on a certain proportion of mixture on the basis of thermogravimetric analysis (TGA). Sewage sludge is a residue from wastewater, consists of organic matter, microorganism, toxic containments and heavy metals [1]. Nowadays in European Union countries a large amount of sewage sludge being produced from the Municipal Wastewater treatment. It is estimated that 10 million Tons of sewage sludge produced every year in European states which represents 4.1% of all wastes generated in EU annually about 250 million tons of dry solids [2]. The European Union states facing a difficult situation in disposal of the huge amount of sewage sludge as it cannot be stored in large amount or cannot be used directly for agricultural application and landfills due to the concentration of heavy metals in the sludge. Also the treatment of waste water and the disposal of sewage sludge are much expensive. Landfilling is deemed to be the most costly way to dispose of the sewage sludge with average total cost ranging from 260 to 350 €/ton of dry matter [3].

Straw is a major solid waste biomass from agriculture, can be considered CO<sub>2</sub> neutral. It also has the advantage of volume reduction and energy production. Combustion using straw is the most effective technology of disposing agricultural straw residue. The availability is wide in Europe that it is estimated to be 33 million metric tons (without corn) as the yield of straw varies according to the type of plant such as barley, beans, oats, wheat and rice, depending upon the environmental conditions [4]. The combustion of oxygen enriched fuel like straw reduce energy loss while converting fuel from chemical energy to thermal energy and decrease concentration of organic pollutants in exhaust gas. Straw contains more volatile when compared to that of coal and carbon.

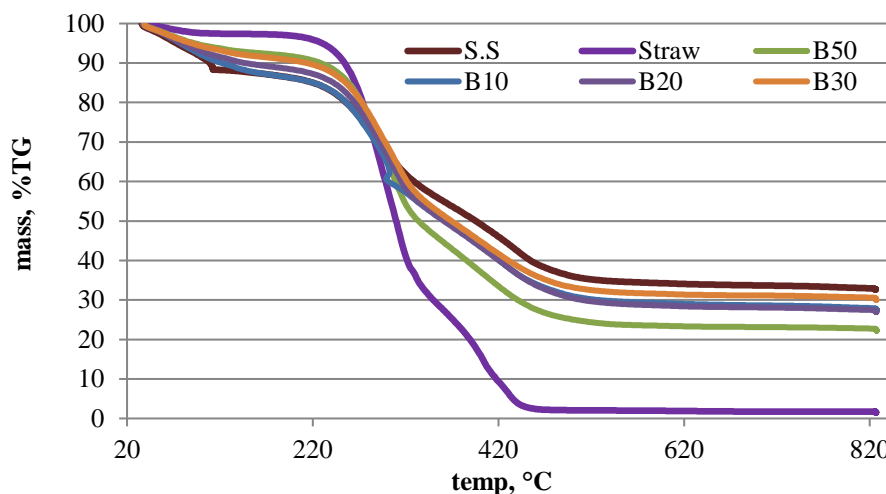


Fig. 1. TG Comparison of heating rate 10°C/min

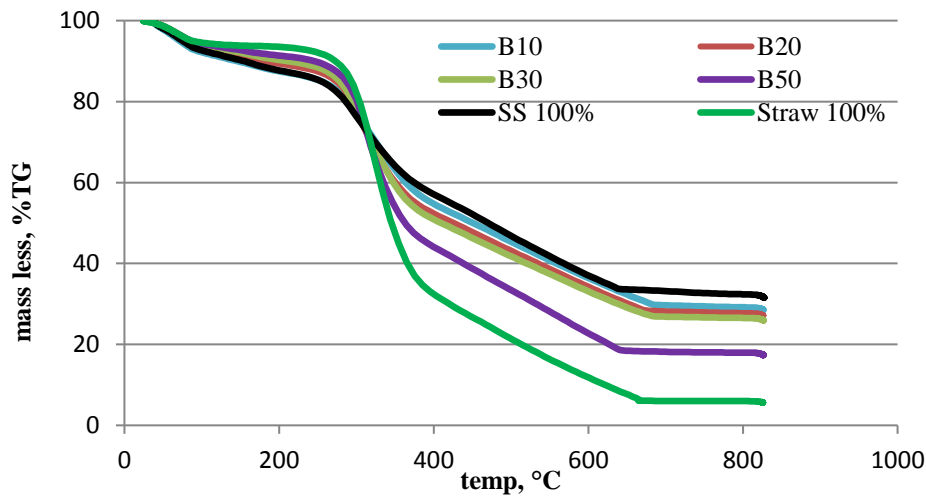


Fig. 2. TG Comparison of heating rate 200°C/min

A suite of TGA/DTG experiments, followed by the determination of the kinetic parameters and characteristic temperatures for each of the respective constituents and their blends, with different shares, has been performed within the course of this study. By this analysis we can obtain information about the thermal behavior, energy activation, ash content and the decomposition of gaseous products such as H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O can be identified the help of thermal decomposition [5]. In this study, the experimental and the additives of sewage sludge and straw are as follows: 100% straw, 100% sewage sludge, 50% straw and 50% sewage sludge, 30% straw and 70% sewage sludge, 20% straw and 80% sewage sludge, 10% straw and 90% sewage sludge. The experimental analysis is carried out through Thermogravimetric analysis under two conditions such as: Heating rate of 10°C/min and heating rate of 200°C/min. figures 1 and 2 shows the results of TGA experiments for heating rate 10°C/min and 200°C/min, respectively.

## Literature

- [1] Kacprzak M., Neczaj E., Fijałkowski K., Grobelak A., Grosser A., Worwag M., AgnieszkaRorat A., Brattebo H., Almås Å., Singh B.R. *Sewage sludge disposal strategies for sustainable development*, “Environmental Research” 2017, Vol. 156, pp. 39–46.
- [2] <http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/index.html>.
- [3] Andersen A.. *Disposal and recycling routes for sewage sludge Part 4: economic report*. “Office for Official Publications of the European Communities”, Luxembourg 2002.
- [4] García-Condado S. *Estimation of crop residue production in Europe with empirical models*, Source: [https://ec.europa.eu/knowledge4policy/sites/know4pol/files/4\\_condado\\_-\\_estimation\\_of\\_crop\\_residue\\_production.pdf](https://ec.europa.eu/knowledge4policy/sites/know4pol/files/4_condado_-_estimation_of_crop_residue_production.pdf).
- [5] Magdziarz A., Werle S. *Analysis of the combustion and pyrolysis of dried sewage sludge by TGA and MS*, “Waste Management” 2014, Vol. 34, pp. 174–179.



## WET TORREFACTION OF THE DIGESTATE FROM ANAEROBIC DIGESTION PROCESS

*Michał Płoszczyca<sup>1</sup>, Christian Aragon-Briceño<sup>2</sup>, Krzysztof Mościcki<sup>3</sup>, Łukasz Niedźwiecki<sup>3</sup>, Artur Pożarlik<sup>2</sup>, Eddy Bramer<sup>2</sup>, Gerrit Brem<sup>2</sup>, Halina Pawlak-Kruczek<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Mechanical and Power Engineering*

<sup>2</sup>*University of Twente, Departement of Thermal and Fluid Engineering*

<sup>3</sup>*Wrocław University of Science and Technology, Department of Mechanics, Machines, Devices and Energy Processes*

Anaerobic digestion (AD) plants typically require 8 ha/MW of installed power [1], which makes storage a problem as it uses up additional space. Moreover, in the future its direct application to soil could be problematic due to European Nitrates Directive (91/676/EEC). Additionally, water is wasted through evaporation, while stored in a lagoon. Currently, there are several commonly applied techniques for digestate management, i.e. solid-liquid separation, thermal drying, along with a subsequent pelletizing. Drying of a such high moisture content material involves significant amounts of heat.

Wet torrefaction, also known as hydrothermal carbonization (HTC), is a thermal process performed in order to achieve valorization of a low-quality solid fuel [2]. It is suitable for many different wet feedstocks, mostly residues of biological processes, as well as biomass problematic due to the content of inorganics (e.g., miscanthus) [2]. The typical temperatures of HTC range between 200°C up to 260°C [2]. The process is performed under the water saturation pressure, i.e., water remains liquid [2]. HTC typically results in increased carbon content of the product, decreased oxygen, as well as increased higher heating value (HHV), which resembles HHV of low rank coals [2].

HTC process involves a multitude of concurring reactions, starting from hydrolysis is the first stage, where biomass is degraded to monomers and oligomers, followed by dehydration (loss of OH groups), decarboxylation and decarbonylation, leading to loss of carboxyl (COOH) and carbonyl (C=O) groups, respectively [3]. The aforementioned reactions, apart from decarbonylation, consequently cause a decrease in the O/C ratio. The loss of functional groups, such as OH, is responsible for making hydrochars relatively more hydrophobic, thus enhancing the subsequent dewatering [4]. When comparing to drying of unprocessed feedstock, this could lead to energy savings. A part of inorganic matter is removed during HTC [2], therefore it can be used for the recovery of nutrients. Among liquid by-products, a wide variety of condensable compounds (liquid at ambient conditions) can be simultaneously produced [5]. The liquid has significant potential in terms of anaerobic digestion [6].

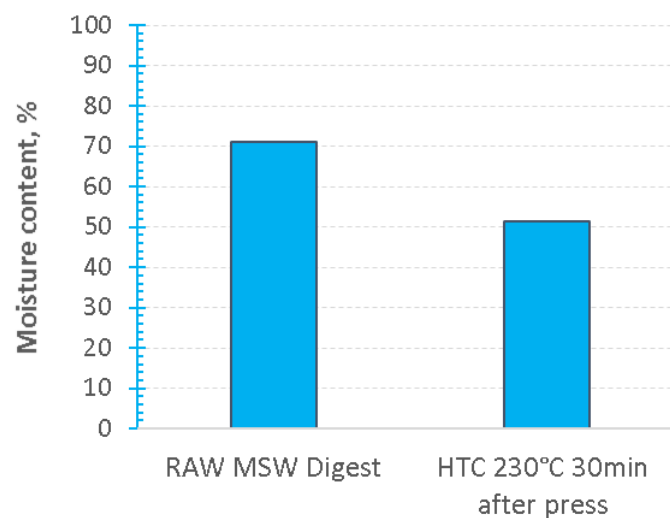


Fig. 1. Results of initial dewatering trial

Taking into the account obtained results it can be concluded that applying wet torrefaction to wet municipal solid waste digestate is beneficial, due to benefits of enhanced mechanical dewatering. This in turn will have a positive effects on subsequent thermal utilization of such digestate, i.e., decreased heat requirement for drying.

## Literature

- [1] Plana P.V., Noche B., *A review of the current digestate distribution models: storage and transport*, “Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Waste Management and The Environment”, Vol. 202, pp. 345–357, 216.
- [2] Moscicki K. J., Niedzwiecki, L., Owczarek P., Wnukowski M., *Commoditization of wet and high ash biomass: wet torrefaction – a review*, “Journal of Power Technologies” 2017, Vol. 97, pp. 354–369.
- [3] Funke A., Ziegler F., *Heat of reaction measurements for hydrothermal carbonization of biomass*, “Bioresource Technology” 2018, Vol. 102, pp. 7595–7598, 2018, doi:10.1016/j.biortech.2011.05.016,
- [4] Wilk M., Magdziarz A., Jayaraman K., Szymańska-Chargot M., Gökalp I., *Hydrothermal carbonization characteristics of sewage sludge and lignocellulosic biomass. A comparative study*, “Biomass and Bioenergy” 2019, Vol. 120, pp. 166–175, doi:10.1016/j.biombioe.2018.11.016.
- [5] Urbanowska A., Kabsch-Korbutowicz M., Wnukowski M., Seruga P., Baranowski M., Pawlak-Kruczek H., Serafin-Tkaczuk M., Krochmalny K., Niedzwiecki L., *Treatment of liquid by-products of hydrothermal carbonization (HTC) of agricultural digestate using membrane separation*, “Energies” 2020, Vol. 13, pp. 1–12, doi:10.3390/en13010262.
- [6] Aragón-Briceño C., Ross A. B., Camargo-Valero M. A., *Evaluation and comparison of product yields and bio-methane potential in sewage digestate following hydrothermal treatment*, “Applied Energy” 2017, Vol. 208, pp. 1357–1369, doi:10.1016/j.apenergy.2017.09.019.

## APPLICATION OF POLYAMIDE 6 AS A PHASE CHANGE MATERIAL – PRELIMINARY STUDIES

*Natalia Raźny*

*Wroclaw University of Science and Technology,  
Department of Lightweight Materials Engineering, Founding and Automatics*

There are numerous methods of energy storage. For example, mechanical energy can be stored using hydroelectric power plants and storing potential energy of water, electrical energy - by using accumulators and batteries, where the electrochemical processes are involved in storing energy. One of the most dynamically growing section is thermal energy storage (TES), which can be divided into thermal and chemical [1].

Phase change materials (PCMs) are now a common theme among researchers. The new opportunities of latent heat storage are examined since PCM can absorb and then release significant amounts of energy (depending on material: 100–300 J/g) while transitions from one state to another: from solid to liquid, from liquid to gaseous or during the transition from one solid-state to another solid-state. A literature review on PCMs and their applications were made. PCMs can be divided into different groups, depending on criteria. The most popular is dividing PCMs into three groups: organic, inorganic and eutectics, as described in [2]. As well as division ways, the variety of applications of phase change materials can be seen. The most popular applications are sustainable construction building, energy management, textiles or food industry.

Polymers used in phase change materials appears to be applied mainly in encapsulated PCM production, where much attention has been paid to polyethylene glycol. Semi-crystalline polymers are not the most popular PCMs basing on solid-s-liquid transition This is due to their tendency to rapid degradation, low thermal conductivity (e.g. thermal conductivity of polyamide 6 is 0.23 W/(mK) and of aluminium alloys – about 200 W/(mK)) or, in some cases, low melting enthalpies, below 100 J/g. On the other hand, there is a potential in using semicrystalline polymers as low-temperature PCMs, since their melting temperatures range from 50 to over 300°C, they are cheap and easy to access materials and there is a possibility to use recycled material, which would have a good impact on the environment. The simplicity of mixing different polymers and thus modifying their properties is also the advantage.

The preliminary examination of semi-crystalline polymers based on literature review was made. Due to many aspects, such as required melting temperature (220°C), specific heat capacity (2700 J/Kkg) and heat of fusion (50–80 J/g), and a low price (below 2,5 \$/kg) polyamide 6 was chosen as a studied material. Tests of static thermal exposure were run to defined degradation of the material at a temperature of 250 °C for 120, 240 and 360 hours – the sample was placed in the convection oven, after and before the test the mass of the samples was determined. Obtained mass difference and the external appearance of the samples were studied and the conclusion was drawn. The dark scale appearing on the surface of the material is the residue from the degraded part of the sample. Mass loss (less than 4% after 360 h in the oven) is also connected to the degradation of the sample and is expected to be lower if the test was run in the nitrogen atmosphere. First tests of thermal cycling load were prepared and applied on the sample in air atmosphere. Heated to 250°C sample was left to cool down in the water stream (around 800 ml/min, 18°C) and the change of temperature on the bottom and in the centre of the sample. Apart from air, the nitrogen atmosphere is planned to be used due to the fact, that polyamide 6 has a different mechanism of degradation in the nitrogen atmosphere than in air and is expected to gain a lower mass loss and smaller scale.

The range of cooling curves indicating phase transition - solidification, included temperatures from 190 to 170°C, i.e., lower than the melting temperature reported in the literature. Such behaviour was consistent with the prediction and the range corresponds to the assumption of obtaining low-temperature PCM (operating at temperatures up to 300 degrees). The static thermal exposure tests showed that the material degrades due to its organic composition, but the rate of degradation was not so fast that it eliminated the use of PA6 as PCM. The obtained results are in line with the literature, but further research will be conducted on this subject.

---

## Literature

- [1] Sharma A. et al., *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*, “Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2009, Vol. 13, pp. 318–345, doi: 10.1016/j.rser.2007.10.005.
- [2] Pielichowska K. et al., *Phase change materials for thermal energy storage*, “Progress in Materials Science” 2014, Vol. 65, pp. 67–123, doi: 10.1016/j.pmatsci.2014.03.005.
- [3] Weingrill H.M. et al., *Applicability of Polymeric Materials as Phase Change Materials*, “Macromolecular Materials and Engineering” 2018, Vol. 303, 1800355, doi: 10.1002/mame.201800355.

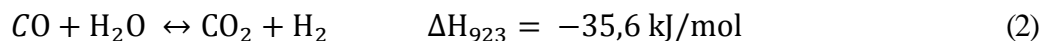
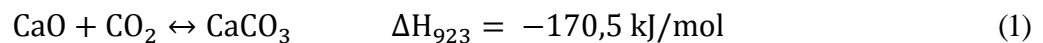
# DESIGN OF A NOVEL BIOMASS PYROGASIFICATION PROCESS WITH AN INTEGRATED SORPTION-SHIFT SYSTEM FOR HYDROGEN AND CARBON PRODUCTION

*Jesse Buiteveld, Eddy Bramer, Gerrit Brem*  
 University of Twente, Departement of Thermal and Fluid Engineering

A novel system for the production of a high quality biochar and high purity hydrogen out of biomass is developed and simulated in Aspen Plus. The proposed system uses a combination of slow pyrolysis, steam reforming and a novel sorption-shift-system based on Calcium Looping (CaL): a Sorption-Enhanced-Water-Gas-Shift (SEWGS) system to increase hydrogen yield and purity.

The reactor configuration of the SEWGS system was identified as a key parameter for high quality hydrogen production [1]. In this study the reforming process and SEWGS system are decoupled: a post-reforming SEWGS system is proposed to ensure both complete tar conversion in the reformer at standard reforming conditions (750 °C) and a high quality hydrogen production in the SEWGS system at 550°C.

This system uses calcium oxide (CaO) for carbon capture according to equation 1 and to shift the Water-Gas-Shift (WGS) reaction (equation 2) into the direction of hydrogen. The developed system contains two sorption-shift reactors in series and a regenerator heated by biomass combustion for the calcination of the CaCO<sub>3</sub>. An efficient heat integration is developed which gives a double function to the SEWGS system: hydrogen production of high purity and steam generation for heat integration.



The overall process is shown in Figure 1. The first process step is slow pyrolysis for biochar production [2], then a two-stage steam reforming process is used for syngas production to produce a hydrocarbon (tar) free syngas [3], and the final step is the novel SEWGS system for CO<sub>2</sub> capture and hydrogen production [4].

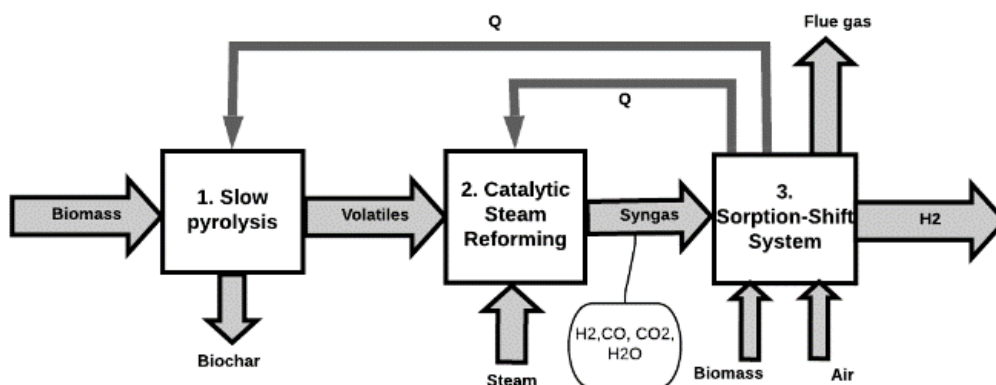


Fig. 1. General system configuration Pyrogasification sorption-shift system

An Aspen plus model is developed for process simulations to optimize the key process parameters for hydrogen production and to maximize heat integration. The designed system operates at a reformer temperature

of 750°C, a final sorption shift temperature of 550°C and a Steam to Carbon (SC) ratio of 4.87 in the pre-reformer. Process simulations show an overall energy efficiency of 74.4% and a cold gas efficiency of 42.2%, a high quality biochar is produced: HHV = 34.18 MJ/kg as well as high quality hydrogen: 99.67% purity. A system sensitivity analysis is performed for process optimization by heat integration and to identify energy shortages in subsystems. The sensitivity analysis identified heat integration of regenerator waste heat for (pre-)reformer heating as the main bottleneck in the system. Further process optimizations is recommended with respect to biomass feed and (pre-)reformer heating to increase the system sustainability and decrease system complexity and cost.

## Literature

- [1] Florin N.H., Harris A.T., *Enhanced hydrogen production from biomass with in situ carbon dioxide capture using calcium oxide sorbents*, “Chemical Engineering Science” 2008, Vol. 63, No. 2, pp. 287–316, <https://doi.org/10.1016/j.ces.2007.09.011>.
- [2] Phan A.N., Ryu C., Sharifi V.N., Swithenbank, J., *Characterisation of slow pyrolysis products from segregated wastes for energy production* “Journal of Analytical and Applied Pyrolysis” 2008, Vol. 81, No. 1, pp. 65–71, <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2007.09.001>.
- [3] van Rossum G., *Steam reforming and gasification of pyrolysis oil*, “Enschede: University of Twente” 2009, <https://doi.org/10.3990/1.9789036528894>.
- [4] Pfeifer C., *Sorption-enhanced gasification. Fluidized bed technologies for near-zero emission combustion and gasification*, “Woodhead Publishing” 2009, pp. 971–1001, <https://doi.org/10.1533/9780857098801.4.971>.



# ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF FUEL CELLS

*Rafael Gallegos González*  
*University of Twente, Departement of Thermal and Fluid Engineering*

Why do we need fuel cells? It is a well-known fact that the demand of energy is constantly rising, calling for new sources greater amounts of power and more reliable devices, while substituting conventional generation of energy depending upon fossil fuels for alternative, more eco-friendly approaches. Thus, fuel cells are demanded as they can supply electric power in a variety of sizes and applications; in fact, one unique feature of fuel cell is that they are modulable which means that it can easily change the amount of power supply depending adapting to a wide range of energy demand [1].

A fuel cell consists into a device that exploits the chemical energy stored in the molecular bounds of a substance, transforming it into electrical energy. For that porpoise, this sort of device needs to be provided with an oxidant, a substance with the property of oxidate a surrounding element (seize its electrons). This oxidant reacts inside cell with the fuel, tearing its electrons. Then, these electrons are forced into an external electric circuit, supplying consequently with electrical power. The overall reaction produce electricity, heat and water as only by-product.

Although there many types of fuel cell I will focus only in low-temperature proton exchange membrane fuel cells (or PEMFCs) in this work. The PEMFCs use hydrogen as fuel and oxygen as oxidizing agent Each type of fuel cell present their own singularities, however there are three main components that are presents in all of them which are:

- anode,
- cathode,
- electrolyte.

The general PEMFC configuration is presented in the following figure (Fig. 1).

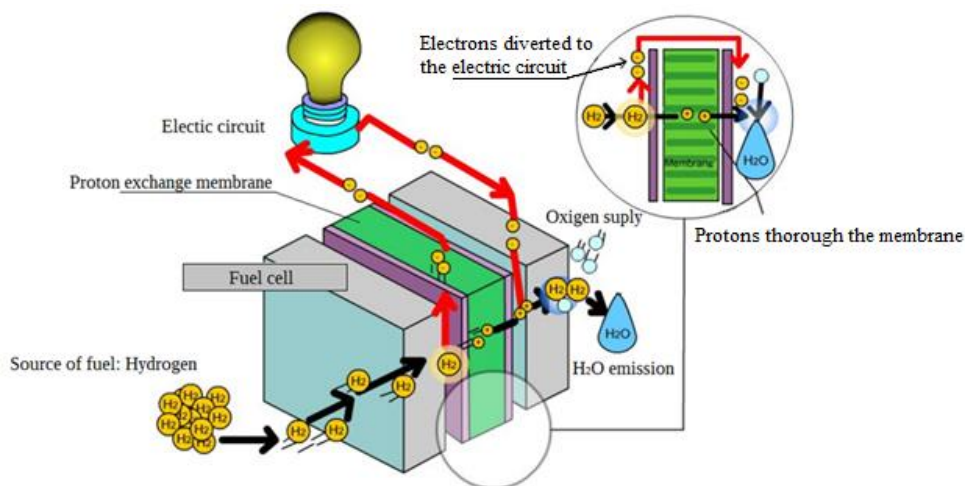
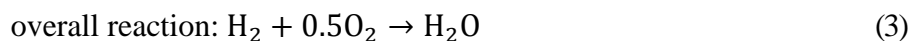
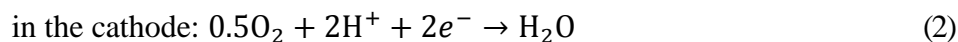


Fig. 1. Generalized scheme of a PEMFC

The hydrogen is introduced in the anode (negative pole of the cell), and loose its electrons. Afterwards, these electrons are forced towards the external electric circuit. The electrolyte is specially designed to block the electrons, allowing only the positively charged ions (protons) to go thorough. At the cathode (positive pole) the oxygen is introduced, normally as pressurized air. Here, the electrons return from the electric circuit, and the along with the protons coming from the anode and the oxygen react to form water and heat. The reactions carried out are as follows:



The convenience of fuel cells relies on its zero emissions on green house effect fumes and other harmful substances since its only byproduct is pure water. Conversely to fossil fuels, the source of energy to power PEMFCs are widely distribute around the planet. To summarize, PEMFC consists in a technology that combines simplicity in its design with reliability in power generation.

Despite its benefits, fuel cells also present some drawbacks that hinder in some cases its implantation. Costs represents a big disadvantage, making this technology economically competitive in a few highly specialized applications [2]. Hydrogen generation and storage can be also a source of problems, since the production of pure hydrogen normally requires more energy than the energy it releases when used in a fuel cell. Power density is a measure of how much power can be delivered by a device per unit of volume or mas; in the case of fuel cells it represents a imitation when compared with internal combustion engines [2].

My porpoise for this paper is therefore, try to gather and study some ways of optimization currently under investigation, or future manners on how this technology can reach new levels of effectiveness.

## Literature

- [1] Spiegel C., *Design and Building Fuel Cells*, McGraw-Hill from [www.knovel.com](http://www.knovel.com), 2007.
- [2] O'Hayre R., Cha S.-W., Colella W.G., Prinz F.B., *Fuel Cell Fundamentals*, 3<sup>rd</sup> edition, John Wiley & Sons, 2016.

# DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF AN INCLINED NOZZLES AND COMBUSTOR OF A DOWNDRAFT BIOMASS GASIFIER FOR TAR REDUCTION

*Md Mashiur Rahman*

*Bangladesh Agricultural Research Institute, Regional Agricultural Research Station,  
Agricultural Engineering Division*

Using biomass gasification to make producer gas is one of the promising sustainable energy options available for small scale and rural applications. Biomass gasification involves a high temperature process at a temperature ranges between 600–1100°C for converting biomass to clean energy, where decomposes of biomass hydrocarbons into gaseous products called producer gas having combustible gases which is consisting of carbon monoxide (CO), hydrogen (H<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>); some other molecules of tars, water, and other constituents also formed which is barrier to utilize the producer gas directly into the commercial application of gas turbine or internal combustion engines (ICE) [1, 2]. Tricky tar can be eliminated from the producer gas by changes of gasifying agent absorption behavior and residence time distribution in the combustion zone. To fulfill these requirements, there is a need to change nozzle inclination angle and a separate combustor installed inside in the combustion zone. For this, a novel nozzle inclination system and a separate combustor of a low tar biomass (LTB) gasifier has been designed and tested to evaluate these effects on tar reduction with the aim of designing suitable tar-free producer gas that is directly coupled with the internal combustion engine or gas turbine for power applications.

In a LTB gasifier design, a separate combustor, having a large annular combustion zones with a tangential inlet at the top and a cylindrical outlet at the bottom, is installed inside the reactor in the partial oxidation zone. The gasifying air is fed from the top of the reactor into the combustor by three nozzles, inclined by 120 degrees and oriented towards the center of the circle that describes the perimeter of the combustor which can be seen in Fig. 1. This creates a swirl flow that is uniformly distributed on the wall of the combustor and allows to increase the mixing of the gasifying air with the pyrolysis gas produced from pyrolysis zone [3]. This air-pyrolysis mixing gas helps to homogenize the temperature inside the combustor, diminishing the formation of cold areas between the combustor and inside areas in the reactor's combustion zone. However, a part of the air-pyrolysis mixing gas is recycle between the top of the char bed and combustion zone. Gasifying air act as a motive force to suck this recycle gas and send to this into the combustor. Finally, air-pyrolysis gas is again mixed with the freshly produced volatiles and burns the mixture in an internal separate combustor with the help of homogenize temperature. Additionally, this modified design increases the residence time of the gas inside the combustor zone, resulting in increasing thermal cracking of tars in the partial oxidation zone, minimizing its passage to the reduction zone, decreasing the tar concentration in the producer gas [4]. Recycling ratio (RR, ratio of recycle gas to gasifying air) an degree of volatiles combustion (ratio of total O<sub>2</sub> supply to total O<sub>2</sub> demand) were introduced for evaluating the nozzle and combustor performance.

Results observed that extremely low tar content found in the producer gas. RR between 0.3 and 0.42 performed better gasification performance, while about 98% volatiles are combusted by the effect of nozzles and combustor. Using the novel design of combustor and nozzle inclination system, about 87 and 17% tar compounds are broken down by combustor in the partial oxidation zone and pyrolysis zone, respectively; where gas outlet has observed producer gas having tar concentration of less than 0.5%. Finally, this system generated producer gas associated with the tar concentration at an extremely low level of 7.4 mg/Nm<sup>3</sup> for biomass moisture content of 9% and appeared the lower heating value of 4.6–5.1 MJ/Nm<sup>3</sup>.

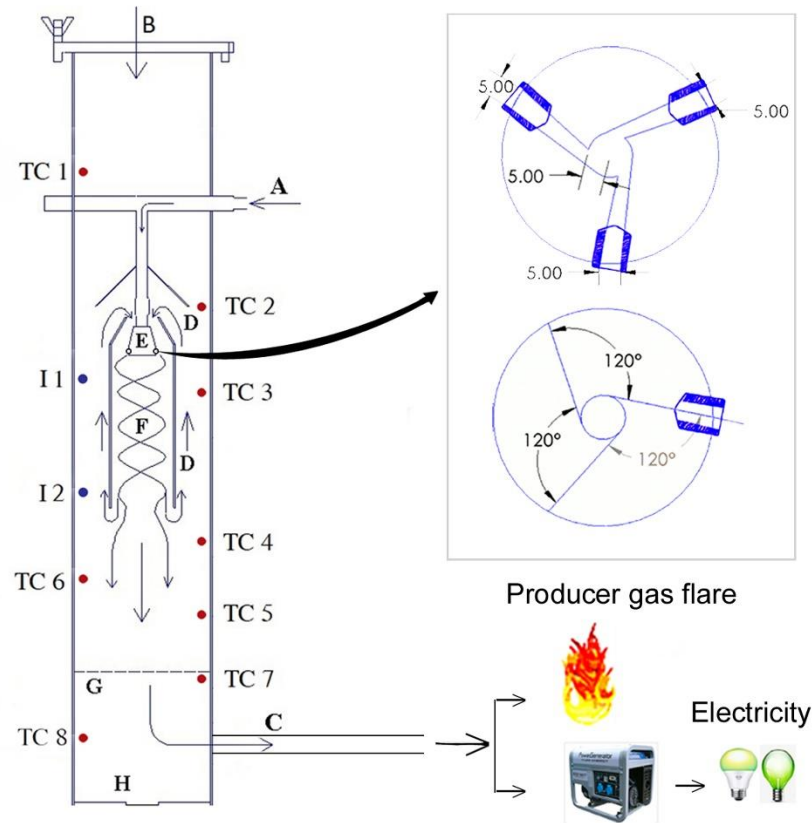


Fig. 1. A Low-tar biomass (LTB) gasifier with nozzle inclination system with dimensions (mm):  
 A – air inlet; B – biomass inlet; C – producer gas outlet; D – recycle gas; E – nozzle; F – combustor; G – ash grate;  
 H – ash bunker; I – pressure measurement port; TC – temperature measurement (thermocouple) port [5]

This tar content seems like very low compare with others same type of downdraft moving bed gasifier under consideration of heating value and producer gas with low tar content could be applied directly in an ICE or gas turbines, while there is no need to tar removal further and any avoid operational problems.

## Literature

- [1] Basu P., *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: Practical design and theory*, “Elsevier” 2018, <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04056-1>.
- [2] Machin E.B., Pedroso D.T., Proenza N., Silveira J.L., Conti L., Braga L.B, Machin A.B., *Tar reduction in downdraft biomass gasifier using a primary method*, “Renewable Energy” 2015, Vol. 78, pp. 478–483, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.12.069>.
- [3] Tabak E.G., Tal F.A., *Turbulent mixing of stratified flows*, “Cubo- A Mathematical Journal” 2004, Vol. 6, pp. 97–111.
- [4] Al-attab K.A., Zainal Z.A., *Design and performance of a pressurized cyclone combustor (PCC) for high and low heating value gas combustion*, “Applied Energy” 2011, Vol. 88, pp. 1084–1095, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.10.041>.
- [5] Rahman M.M., Henriksen U. .B., Ahrenfeldt J. Arnavat M.P., *Design, construction and operation of a low-tar biomass (LTB) gasifier for power applications*, “Energy” 2020, Vol. 204, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117944>.

## POTENTIAL FOR USING BANANA PEEL FOR BIOCHAR PRODUCTION

*Guilherme Bampi Righeto, Regina Célia Espinosa Modolo, Paulo Wander,  
Carlos Alberto Mendes Moraes  
Vale do Rio dos Sinos University*

Banana is one of the most consumed fruit in the world and when it comes to its production globally, its planted area has been approximately 5.4 million hectares and has a production of 114 million tons annually [1, 2]. Banana peels, residues of this consumption/production by industry in crops and domestic consumption, have been disposed of in landfills, dumps or used for composting, generally. Even though the decomposition of banana peel by microorganisms is natural and part of the fast carbon cycle of the earth, this process generates gases such as CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>, which act to control temperature and maintain the climate on the planet, increasing their concentrations in the atmosphere [3,4]. These residues (banana peels) have emerged as an alternative biomass source of technological, environmental and economic valorization, which can be recovered by suitable thermochemical treatments in stable forms and with greater added value. They can also be used for various purposes, such as energy generation, obtaining methane and hydrogen from hydrolysis, effluent treatment, soil conditioners, carbon sequestrators, among others [4–9].

This work aims to analyze the properties of the banana peel biomass for biochar production in application into agricultural soils. The banana peels were dried in an oven at 105°C for 48 hours and then, ground to a particle diameter between 1 and 2 mm in the adopted methodology. The ultimate analysis was performed on dry biomass to determine the concentrations of C, H, N and S (and O by difference) using an elemental analyzer (Vario MACRO Cube), as well as proximate analysis (amount of moisture, ash, volatile matter and fixed carbon) were determined according to the methodology of CASSEL, MENARD and EARNEST (2012) using the equipment (NAVAS TGA-1000) [10]. In addition, the specific area (SA) was determined by the BET method (MICROMERITICS equipment, model Tristar Plus II), the gross calorific value (GCV) (IKA C-200) and the specific mass (SM) by pynometry with Helium gas (Accupyc II 1340) in the raw biomass.

The pyrolysis conditions were determined considering the references [11–14] with respect to the effect of temperature, heating rate and residence time of the biomass biochar on the final properties, using a CRECK model from a mechanism detailed kinetics described by DEBIAGI et al. (2015) using the CHEMKIN<sup>®</sup> software [15, 16]. This model takes into account the decomposition of the basic structures of biomass, which are cellulose (CELL), hemicellulose (HCELL) and lignin (LIGC, LIGH AND LIGO) determined from mathematical relationships based on ultimate analysis, according to the methodology by DEBIAGI et al. (2015). The experimental results of characterization and using the model of DEBIAGI et al. (2015) are shown in Table 1.

The concentrations of C, H, O, N and S found are similar to those found in [4, 6], including, in relation to the C/N ratio (approximately 40) of the biomass, it indicates a good potential regarding the immobilization capacity of N by microorganisms in the soil still in the raw form, which should be boosted as biochar (higher amount of C) [12, 13]. Raw biomass presents values of 0.12 and 0.6 in the H/C versus O/C ratio using the Van Krevelen diagram [13] with regard to the recalcitrance of the material in the soil, far from the origin due to the high occurrence of oxygen in the raw biomass structure, what must be changed in the biochar in order to bring the point closer to the recalcitrant materials [12,13]. In addition, when it comes to gross calorific value (18.91 MJ/kg) and specific mass (1.4234 g/cm<sup>3</sup>), biomass presents relatively high values when compared to other biomasses [17].

Among the criteria for evaluating the pyrolysis conditions for obtaining the biochar, total solid portion (to be maximized), total process energy (to be minimized), biochar properties (recalcitrance, surface area and carbon concentration and pH) were considered [10–12]. In this way, the temperature of 370°C and heating rate of 20°C/min was defined for the experiment. The simulation of the conversion under these conditions resulted in a total solid yield of 38.6% in 115 min inside the reactor.



Table 1. Banana peel properties of raw biomass  
 (cellulose – CELL, a hemicellulose – HCELL, e a lignin – LIGC, LIGH E LIGO, \*simulated values)

Ultimate Analysis (%)					Proximate Analysis (%)			
C	H	O	N	S	Moisture (w.b.)	Volatile Matter (d.b.)	Ash (d.b.)	Fixed Carbon (d.b.)
48.13	5.79	29.08	1.21	0.14	1.71	75.29	15.92	8.77
Other Properties			Mass fraction of biomass structures* (% d.b.)					
GCV (MJ/Kg)	SM (g/cm <sup>3</sup> )	SA (m <sup>2</sup> /g)	CELL	HCELL	LIGC	LIGH	LIGO	
18.91	1.4234	0.1423	26.93	17.95	10.75	35.01	8.02	

## Literature

- [1] FAO – Food And Agriculture Organization of The United Nations, *FAOSTAT 2019*, <http://www.fao.org/faostat/en/#dat> (date of access: 27<sup>th</sup> March 2020).
- [2] EMBRAPA, *Produção de Banana no Brasil em 2017*, [http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/dados/brasil/banana/b1\\_banana.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/banana/b1_banana.pdf) (date of access: 12<sup>th</sup> November 2019).
- [3] Quan B. et al., *Bio-based phenols and fuel production from catalytic microwave pyrolysis of lignin by activated carbons*, “Bioresource Technology” 2014, Vol. 162, pp. 142–147, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.103>.
- [4] Su Shiung L. et al., *Pyrolysis production of fruit peel biochar for potential use in treatment of palm oil mill effluent*, “Journal Of Environmental Management” 2018, Vol. 213, pp. 400–408, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.092>.
- [5] Sjaak V.L., Jaap K. (Eds.), *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*, 2nd. Edd., London And Sterling: Earthscan, 2008.
- [6] Tanveer Ali S. et al., *Contrasting effects of banana peels waste and its biochar on greenhouse gas emissions and soil biochemical properties*, “Process Safety And Environmental Protection” 2019, Vol. 122, pp. 366–377, <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2018.10.030>.
- [7] Ozair S. et al., *Energia alternativa de biomassa: Bioetanol a partir da casca e da polpa de banana*, “Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande” 2012, Vol. 18, No. 8, pp. 915–921.
- [8] Kwame B.J. et al., *Characterization of the residual biochemical components of sequentially extracted banana peel biomasses and their environmental remediation applications*, “Waste Management” 2019, Vol. 89, pp. 141–153, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.009>.
- [9] Chananchida N., Ubonrat S., Nipon P., *Production of Hydrogen and Methane from Banana Peel by Two Phase Anaerobic Fermentation*, “Energy Procedia” 2014, Vol. 50, pp. 702–710, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.086>.
- [10] Cassel B., Menard K., Earnest C., *Proximate Analysis of Coal and Coke using the STA 8000 Simultaneous Thermal Analyzer*, PerkinElmer, Inc., 1–4, 2012.
- [11] Ralebitso-Senior T.K., Orr C.H. (Eds.), *Biochar Application: essential soil microbial ecology*, Essential Soil Microbial Ecology, Elsevier, Middlesbrough 2016.
- [12] Singh B., Camps-Arbestain M., Lehmann J. (Eds.), *Biochar: a guide to analytical methods. A Guide to Analytical Methods*, Crc Press, Clayton South 2017.
- [13] Ok S.Y. et al. (Eds.), *Biochar: production, characterization, and applications*, Production, Characterization, and Applications (Urbanization, Industrialization and the Environment Series), CRC Press, Boca Raton 2016.
- [14] Bruckman V.J. et al., *Biochar: a regional supply chain approach in view of climate change mitigation*, A Regional Supply Chain Approach in View of Climate Change Mitigation, Cambridge University Press, Cambridge 2016.
- [15] Debiagi P.E.A. et al., *Extractives Extend the Applicability of Multistep Kinetic Scheme of Biomass Pyrolysis*, “Energy and Fuels” 2015, Vol. 29, No. 10, pp. 6544–6555, <http://dx.doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b01753>.
- [16] Kee R. J. et al., *CHEMKIN Collection*, Release 3.5, Reaction Design, Inc., San Diego, CA, 2000.
- [17] Reisinger K. et al., *BIOBIB – a database for biofuels*, Proceedings of the THERMIE – Conference: Renewable Energy Databases, Harwell, UK, 1996.



# AN ACCURATE MATHEMATICAL PREDICTIVE MODEL FOR METHANE (CH<sub>4</sub>) HYDRATE SWAPPING WITH CARBON DIOXIDE (CO<sub>2</sub>)

Shadman Hasan Khan<sup>1</sup>, C.B. Majumder<sup>1</sup>, Amit Arora<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Shaheed Bhagat Singh State Technical Campus, Chemical Engineering Department

A mathematical model capable of predicting the carbon dioxide and methane exchange process is developed. The model is capable of predicting the transient composition for both experimental as well as field scale exchange process. More specifically, the model provides decent estimation of quantifying amount of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> liberated/consumed during the exchange process. The thermodynamic parameters, namely, temperature and pressure can also be estimated accurately by the developed model. In the current study, the applicability of the developed model is demonstrated by validating experimental observations from three different research studies. The experimental & model predictions show an excellent agreement. Moreover, the applicability of model for field scale application is also carried out in great detail. To establish sensitivity towards different variables, an in-depth parametric analysis is also carried out in this study.

Several researches conducted on CO<sub>2</sub> hydrate formation within marine sediments have indicated that most sites occurring in nature can be used for CO<sub>2</sub> storage [3, 4]. An added advantage associated with CO<sub>2</sub> hydrate formation is the self-sustaining stability. A secondary cap formation which possess very low permeability reduces the back diffusion of CO<sub>2</sub> into water [8]. Similarly, self-sealing of CO<sub>2</sub> hydrates was reported by Almenningen et al. [1]. Thus sufficient evidence have been reported which suggest that CO<sub>2</sub> hydrates remain stable within marine environment. Another interesting observation with regards to geo-mechanical stability was observed by Hyodo et al. [2]. Their studies indicated that sediments saturated with CO<sub>2</sub> hydrates after exchange reaction between CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub> provide mechanical stability [2]. As such, methane can be extracted, and depleted natural gas reservoirs can be used as sequestration sites [5] for carbon dioxide.

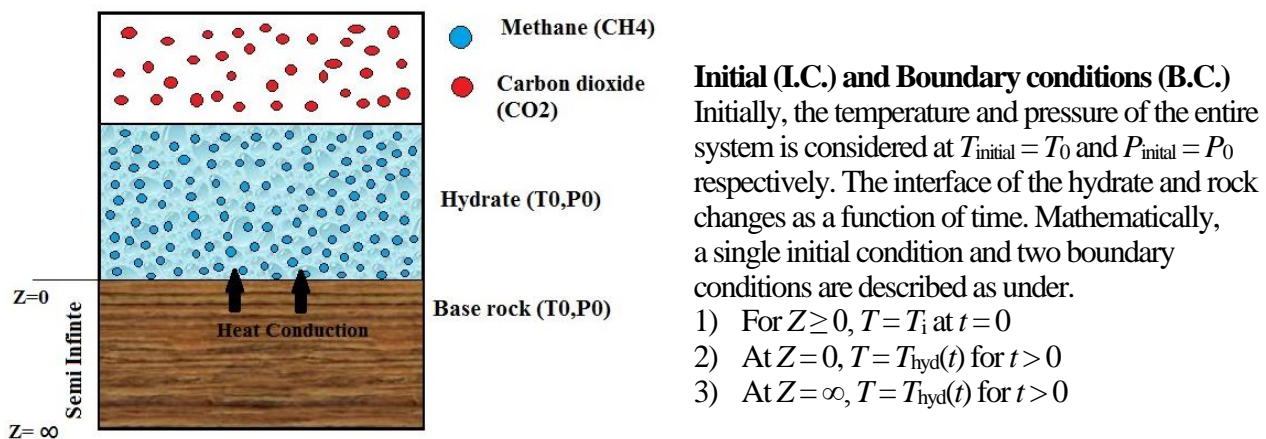


Fig. 1. Schematic of semi infinite medium assumed in the present study

A significant gap in the literature exists when it comes to the in-depth study of the CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub> exchange process. The different aspects of the exchange process, namely, quantification of recovered CH<sub>4</sub>, sequestered CO<sub>2</sub>, etc. have not been rigorously investigated as yet. Few research studies targeting equilibrium conditions, rate of exchange [7] and its viability of thermally assisted replacement have been reported [9]. Other least researched areas include investigating the effect of initial temperature, pressure, thermophysical parameters, etc. Few dedicated studies targeting the numerical modeling of the CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub> exchange process have been carried out till date. Hence a need is felt in the present study to develop a simple mathematical model to estimate the parameters

of the CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub> exchange process. In addition to the model development, validation of different experimental studies taken from literature has been carried out. Finally, the applicability of the developed model is exhibited by predicting the response regarding the exchange within permafrost hydrate reservoirs. With regards to the exchange process, sensitivity analysis of gas layer depth, hydrate layer depth, and other relevant parameters is also performed in his study.

Using laplace transform, the following expression (1) is obtained for Temperature,  $T(Z, t)$  as a function of depth ( $Z$ ) and time ( $t$ ).

$$T_{\text{interface}}(Z, t) = T_{\text{hyd}} \cdot \text{erfc}\left(\frac{Z}{2\sqrt{\alpha_r t}}\right) + T_i \left(1 - \text{erfc}\left(\frac{Z}{2\sqrt{\alpha_r t}}\right)\right) \quad (1)$$

For the temperature distribution of hydrate block, the following equation (2) is used.

$$\frac{\partial T}{\partial z_{z=0}} = \frac{\rho C_{pH}}{k_{\text{rock}}} \cdot \frac{dT}{dt} + \frac{\Delta H_{rxn}}{k_{\text{rock}} A} \cdot \frac{dm_{\text{hyd}}}{dt} \quad (2)$$

Taking laplace transform of the above equation (3) yields:

$$T_{\text{hyd}}^{n+1} = \frac{\frac{\rho C_{pH}}{k_{\text{rock}}} \sqrt{\frac{\alpha_r \pi}{t}}}{\frac{\rho C_{pH}}{k_{\text{rock}}} \sqrt{\frac{\alpha_r \pi}{t}} + 1} T_{\text{hyd}}^n - \frac{\frac{\Delta H_{rxn}}{k_{\text{rock}} A} \sqrt{\frac{\alpha_r \pi}{\Delta t}}}{\frac{\Delta H_{rxn}}{k_{\text{rock}} A} \sqrt{\frac{\alpha_r \pi}{\Delta t}} + 1} \left(-\frac{dm_{\text{CH}_4(H)}}{dt}\right) + T_{\text{avg}}^n \cdot \frac{1}{1 + \frac{\rho C_{pH}}{k_{\text{rock}}} \sqrt{\frac{\alpha_r \pi}{t}}} \quad (3)$$

Validation of Lab scale model 1 (experimental CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> exchange) was presented in Fig. 2.

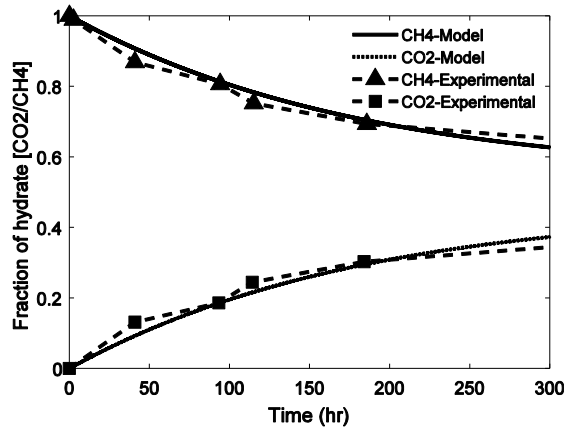


Fig. 2. Depiction of fraction of CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> present in the hydrate phase validated against [6]

## Literature

- [1] Almenningen S., Gauteplass J., Hauge L.P., Barth T., Fernø M.A., Ersland G., *Measurements of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> relative permeability in hydrate-bearing sandstone*, “Journal of Petroleum Science and Engineering” 2019, Vol. 177, pp. 880–888, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.02.091>.
- [2] Hyodo M., Li Y., Yoneda J., Nakata Y., Yoshimoto N., Kajiyama S., Nishimura A., Song Y., *A comparative analysis of the mechanical behavior of carbon dioxide and methane hydrate-bearing sediments*, “American Mineralogist” 2014, Vol. 99, pp. 178–183, <https://doi.org/10.2138/am.2014.4620>.

- 
- [3] Linga P., Adeyemo A., Englezos P., *Medium-Pressure Clathrate Hydrate/Membrane Hybrid Process for Postcombustion Capture of Carbon Dioxide*, “Environ. Sci. Technol.” 2008, Vol. 42, pp. 315–320, <https://doi.org/10.1021/es071824k>.
- [4] Merey Ş., *Analysis of the effect of experimental adsorption uncertainty on CH<sub>4</sub> production and CO<sub>2</sub> sequestration in Dadas shale gas reservoir by numerical simulations*, “Journal of Petroleum Science and Engineering” 2019, Vol. 178, pp. 1051–1066, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.04.022>.
- [5] Merey S., Al-Raoush R.I., Jung J., Alshibli K.A., *Comprehensive literature review on CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub> replacement in microscale porous media*, “Journal of Petroleum Science and Engineering” 2018, Vol. 171, pp. 48–62, <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.07.032>.
- [6] Ota M., Morohashi K., Abe Y., Watanabe M., Smith Jr. R.L., Inomata H., *Replacement of CH<sub>4</sub> in the hydrate by use of liquid CO<sub>2</sub>*, “Energy Conversion and Management” 2005, Vol. 46, pp. 1680–1691, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.10.002>.
- [7] Ricaurte M., Dicharry C., Broseta D., Renaud X., Torr  J.-P., *CO<sub>2</sub> Removal from a CO<sub>2</sub>–CH<sub>4</sub> Gas Mixture by Clathrate Hydrate Formation Using THF and SDS as Water-Soluble Hydrate Promoters*, “Ind. Eng. Chem. Res.” 2013, Vol. 52, pp. 899–910, <https://doi.org/10.1021/ie3025888>.
- [8] Tohidi B., Yang J., Salehabadi M., Anderson R., Chapoy A., *CO<sub>2</sub> Hydrates Could Provide Secondary Safety Factor in Subsurface Sequestration of CO<sub>2</sub>* “Environ. Sci. Technol.” 2010, Vol. 44, pp. 1509–1514, <https://doi.org/10.1021/es902450j>.
- [9] Tupsakhare S.S., Fitzgerald G.C., Castaldi M.J., *Thermally Assisted Dissociation of Methane Hydrates and the Impact of CO<sub>2</sub> Injection*. “Ind. Eng. Chem. Res.” 2016, Vol. 55, pp. 10465–10476, <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b02509>.

# FAULT DETECTION METHOD BASED ON AN AUTOMATED OPERATING ENVELOPE DURING TRANSIENT STATES FOR THE LARGE TURBOMACHINERY

*Tomasz Barszcz<sup>1</sup>, Mateusz Zabaryłło<sup>2</sup>*  
<sup>1</sup>*AGH University of Science and Technology*  
<sup>2</sup>*FieldCore – a GE Company*

Large turbo-generators plays a huge role in electrical power generation whole over the world. Every facility considers they as the most important equipment in their business. Such machines should be well maintenance, properly handled, and precisely diagnosed. The most valued data are collected during machine’s shut-downs and run-ups. Those data are more than seldom hard to assess without expert’s knowledge with strong theoretical background and experience.

In this papier, we propose a method to facilitate a maintenance staff to evaluate deviations of turbo-set’s proper state based on an Operating Envelope. This envelope is obtained from vibration’s sensor during its transient states. In this article we considered one vibration sensor and only amplitude first harmonic of that signal. To set acceptance limits, inside of which turbo-set’s dynamic response for changing synchronous excitation will fall and it will be considered as acceptable, we used the cubic spline interpolation coupled with expert’s knowledge of both authors. Outside of that limits the state of the turbo-set is considered as an outstanding. In such case machine is considered as one that have to undergone further and deeper diagnostic analysis. We have used the data from the 13K242 type (+200 MW class turbine) of the steam turbine to present our method. We proposed a set of parameters to evaluate the severity of malfunction.

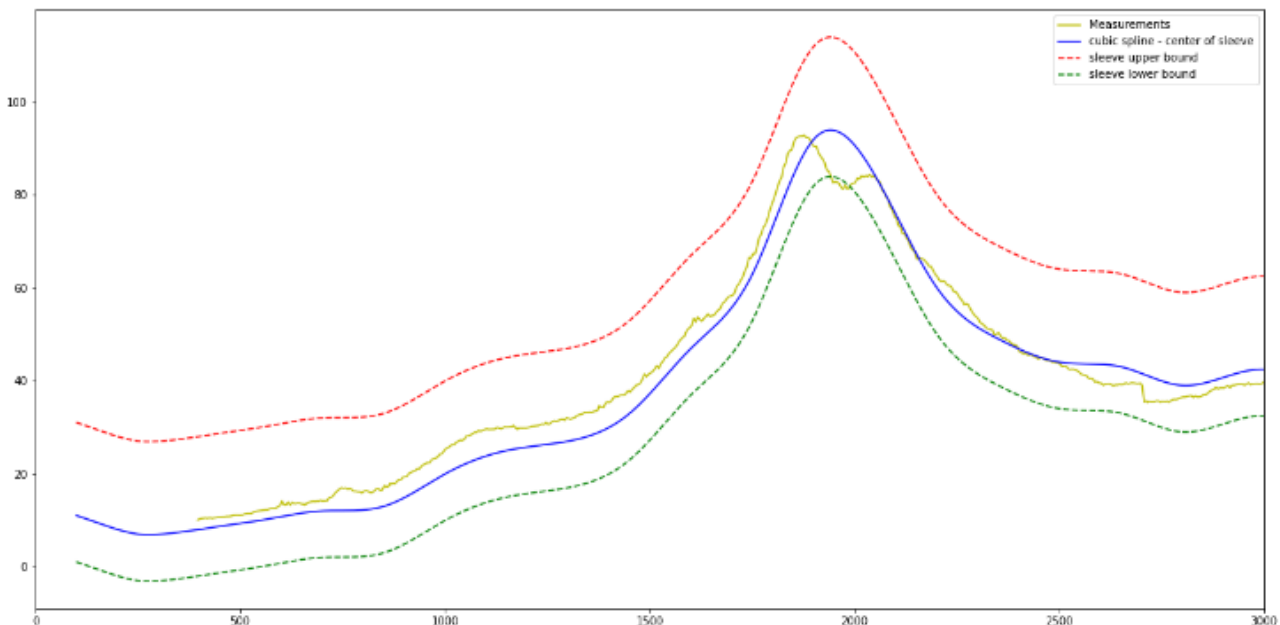


Fig. 1. Baseline measurement upon cubic spline interpolation and appropriate boundaries

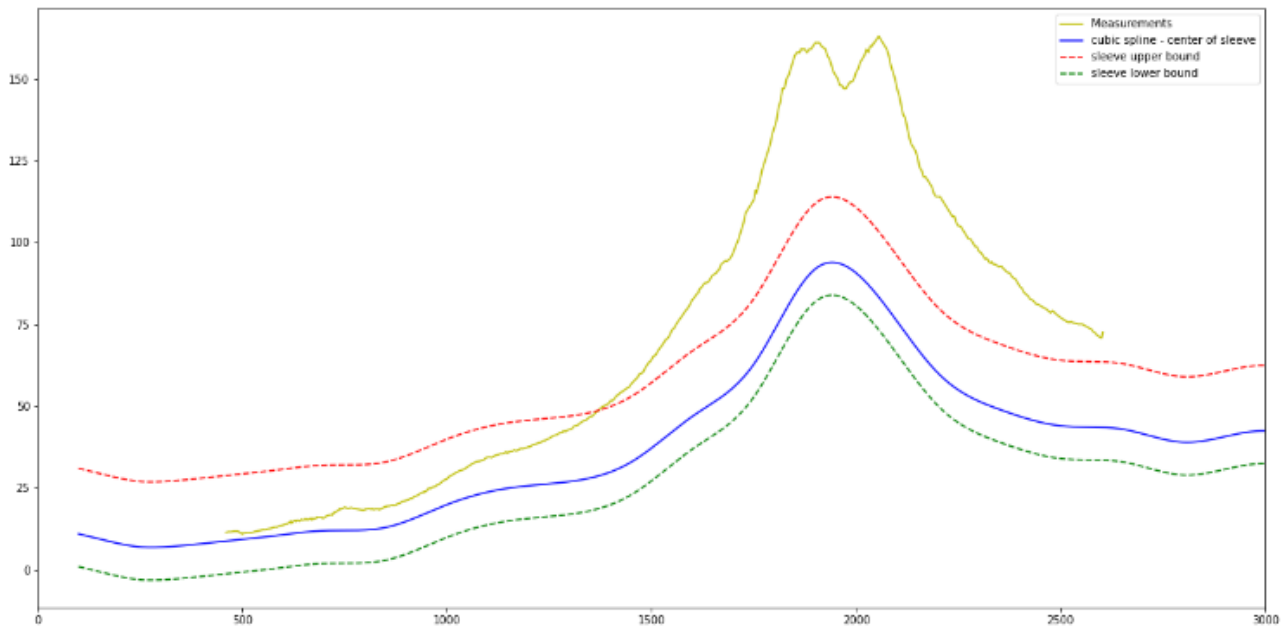


Fig. 2. Baseline measurement upon cubic spline interpolation and appropriate boundaries

## Literature

- [1] Muszyńska A. et al., *Rotordynamics*, 1<sup>st</sup> Edd., USA 2005, ISBN 9780824723996 - CAT# DK3162.
- [2] Eisenmann R.C. Sr, Eisenmann R.C. Jr. et al., *Machinery Malfunction Diagnosis and Correction: Vibration Analysis and Troubleshooting for the Process Industries*, ISBN 0-13-240946-1.
- [3] Dyer S.A., Dyer J.S. et al., *Cubic-spline interpolation*, “IEEE Instrumentation & Measurement Magazine” 2001, Vol. 4, No. 1, ISSN: 1941-0123; DOI: 10.1109/5289.911175.





**IX SESJA REFERATOWA**  
**CHŁODNICTWO I KRIOGENIKA**  
**REFRIGERATION, COOLING SYSTEMS**  
**AND CRYOGENICS**



# CHŁODZENIE ADSORPCYJNE Z WYKORZYSTANIEM ZŁÓŻ FLUIDALNYCH

## ADSORPTION COOLING BASED ON FLUIDIZED BED

*Piotr Boruta, Tomasz Bujok*

*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Katedra Maszyn Ciepłych i Przepływowych*

Globalne zużycie energii w 2018 roku kształtowało się na poziomie 24738,9 TWh, z czego 2075 TWh to energia wykorzystywana na potrzeby chłodzenia [1]. Fakt ten jest powiązany ze wzrostem zamożności oraz rosnącymi średnimi i maksymalnymi temperaturami na Ziemi. Właśnie dlatego zmiany klimatu są głównym tematem dyskusji kolejnych szczytów klimatycznych. W wyniku podpisanych porozumień koniecznością jest ograniczanie emisji gazów cieplarnianych oraz potrzeba wzrostu efektywności wykorzystania energii elektrycznej. W najbliższych latach to właśnie branża chłodnictwa i klimatyzacji będzie w największym stopniu odpowiadała za rosnącą konsumpcję energii elektrycznej [1], więc implikuje to konieczność modernizacji tego sektora w oparciu o wykorzystanie najlepszej możliwej technologii. Jednym z rozwiązań stojącym naprzeciw przedstawionym problemom jest chłodzenie wykorzystujące zjawisko sorpcji, które jest alternatywą dla powszechnie stosowanego chłodzenia za pomocą agregatów sprężarkowych.

Atrakcyjnym wyróżnikiem technologii sorpcyjnych jest minimalny wpływ na środowisko naturalne ze względu na możliwość wykorzystania wody, jako czynnika chłodniczego oraz ciepła, jako energii napędowej. Ponadto w zależności od wybranej metody sorpcji możliwe jest wykorzystanie ciepła o różnym zakresie temperatur, w szczególności niskotemperaturowego ciepła odpadowego, które wykorzystywane jest w chłodzeniu adsorpcyjnym. Podstawową różnicą między agregatami sprężarkowymi, a sorpcyjnymi jest współczynnik efektywności COP (ang. *Coefficient of Performance*), który dla urządzeń zasilanych energią elektryczną kształtuje się najczęściej w zakresie 3÷5, a dla chłodziarek sorpcyjnych osiąga wartości rzędu 0,2÷1,0 [2]. Niemniej jednak bezpośrednie porównanie tych wartości nie jest możliwe, ze względu na różnice w energii napędowej. Energia elektryczna i ciepło cechują się różną jakością energii, a co za tym idzie różnym stopniem i możliwościami jej konwersji.

Przedmiotem pracy jest analiza możliwości rozwoju technologii adsorpcyjnych ze względu na fakt, że spośród metod sorpcyjnych, to właśnie chłodziarki adsorpcyjne wykorzystują najmniej energii elektrycznej i mogą pracować w oparciu o ciepło niskotemperaturowe. Głównym ograniczeniem chłodziarek adsorpcyjnych jest niska intensywność wymiany ciepła i masy w złożu, co prowadzi do niskiej wartości wspomnianego wyżej współczynnika COP. Fakt ten wpływa na konieczność używania dużej masy adsorbentu, co wpływa na wzrost masy i wymiarów całego urządzenia, a przez to rosną ograniczenia związane z jego aplikacją.

Głównym celem opracowania jest analiza możliwości poprawy transportu ciepła i masy w złożu adsorpcyjnym poprzez zastosowanie złoża fluidalnego [3]. Poddano dyskusji różne występujące w przemyśle konstrukcje złoża fluidalnego i oceniono je pod kątem możliwości aplikacji w chłodziarkach adsorpcyjnych. Przeanalizowano chłodziarki adsorpcyjne z czynnikiem pośredniczącym, jak i zapewniające chłodzenie bezpośrednie. W analizach uwzględniono również wymianę ciepła i masy w złożu fluidalnym, bazując na przedstawionych w literaturze modelach obliczeniowych.

Po przeglądzie dostępnych danych przedstawiono możliwości oraz potencjalne ograniczenia związane z rozwojem tej technologii. Przeprowadzona analiza ma na celu wskazanie kierunku prowadzenia badań eksperymentalnych nad intensyfikacją transportu ciepła i masy w procesach adsorpcji i desorpcji chłodziarki. Ze względu na złożoność problemu, publikacje dotyczące zagadnienia traktują o indywidualnych, wybranych elementach procesu. W związku z tym tylko obszerny przegląd literatury, uwzględniający analizę całego procesu zachodzącego zarówno w złożu, jak i w urządzeniu, pozwala na precyzyjne określenie aktualnego stanu wiedzy.

---

## Literatura

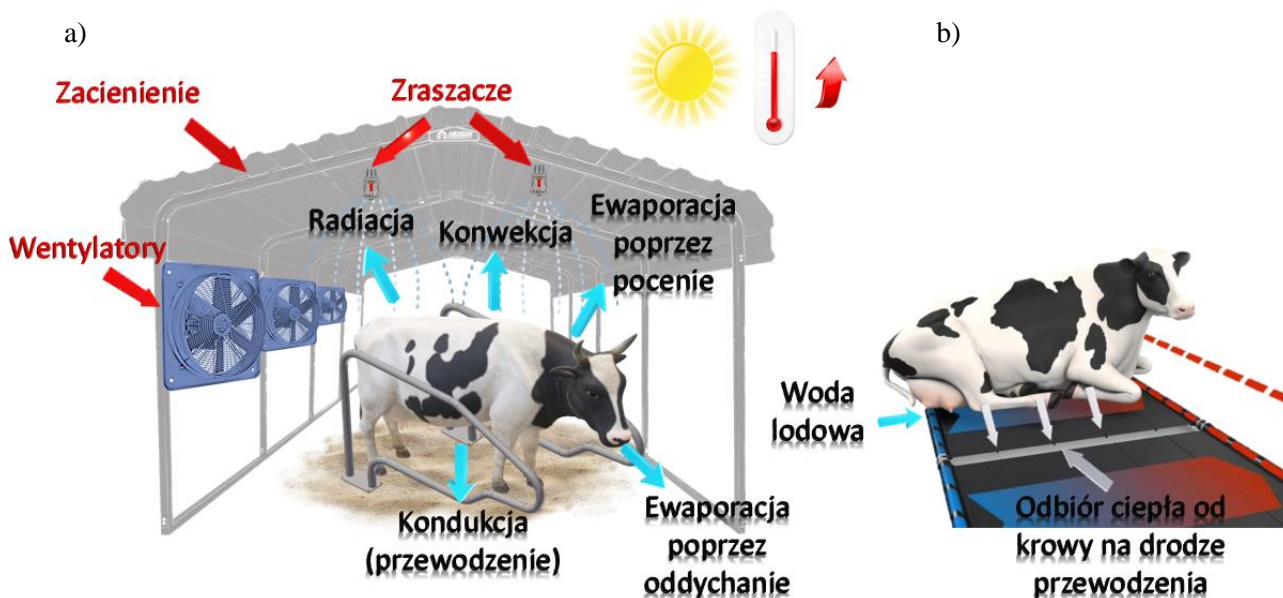
- [1] International Energy Agency, *World Energy Balances 2019*, “World Energy Balanc. Overv.” 2019.
- [2] Agnieszka K., Szaflik W., *Absorption and adsorption chillers applied to air conditioning systems*, “Arch. Thermodyn.” 2010, Vol. 31, No. 2, pp. 77–94, doi: 10.2478/v10173-010-0010-0.
- [3] Rogala Z., Kolasiński P., Gnutek Z., *Modelling and experimental analyzes on air-fluidised silica gel-water adsorption and desorption*, “Appl. Therm. Eng.” 2017, Vol. 127, pp. 950–962, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.07.122.

# PRZEGLĄD AKTYWNYCH SYSTEMÓW CHŁODZENIA WYKORZYSTYWANYCH DO NIWELOWANIA STRESU CIEPLNEGO WYSTĘPUJĄCEGO U KRÓW MLECZNYCH: PROJEKT RADMAT

## DESCRIPTION OF ACTIVE COOLING SYSTEMS USED TO REDUCE HEAT STRESS OCCURRING ON DAIRY COWS: RADMAT PROJECT

*Kamila Gębarowska, Sabina Rosiek-Pawłowska  
 Politechnika Wroclawska, Katedra Termodynamiki i Odnawialanych Źródeł Energii*

Sektor mleczarski w Polsce rozwija się bardzo prężnie, popyt na mleko i jego pochodne stale rośnie. Aby sprostać wymaganiom stawianym przez sektor rolno-żywnościowy hodowcy muszą zwiększyć produkcję mleka, która uzależniona jest od dobrostanu bydła mlecznego [1]. Krowy są zwierzętami stałocieplnymi, które podczas przemiany materii produkują duże ilości ciepła metabolicznego, którego nadmiar starają się oddać do otoczenia. Od wielu lat występują coraz większe anomalie temperaturowe na świecie, a także w Polsce. W 2019 roku średnia roczna temperatura była wyższa aż o 2,4°C od tzw. normy wieloletniej (dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej). Potrzebne są systemy intensyfikujące wymianę ciepła między krową a otoczeniem, aby zachować równowagę cieplną zwierzęcia, zapewniając mu komfort cieplny.



Rys. 1. a) Sposoby wymiany ciepła pomiędzy krową a otoczeniem wraz z podstawowymi systemami ich chłodzenia,  
 b) Innowacyjna metoda chłodzenia krowy na drodze przewodzenia  
 (źródło: [https://www.youtube.com/watch?v=ro\\_bZSY-evw&ab\\_channel=MCNDrachten](https://www.youtube.com/watch?v=ro_bZSY-evw&ab_channel=MCNDrachten))

Krowa może oddawać ciepło na dwa sposoby: bezpośredni (przewodzenie, konwekcja, radiacja) i pośredni (ewaporacja) co zostało przedstawione na rys. 1a. W momencie, gdy gradient temperatury między zwierzęciem a otoczeniem jest mały, zaczyna występować problem związany z oddawaniem ciepła przez krowę do otoczenia. Zwierzę zaczyna przegrzewać się, wzrasta jego temp. wewnętrzna, co powoduje tzw. stres cieplny. Poza temperaturą otoczenia na występowanie stresu cieplnego u krowy ma również wpływ wiele innych parametrów takich jak: wilgotność względna, prędkość przepływu powietrza czy zanieczyszczenia chemiczne

i bakteriologiczne oraz natężenie promieniowania słonecznego [1]. Poszczególne parametry warunkujące stres cieplny u krowy zostaną omówione podczas prezentacji.

Obecnie hodowcy wykorzystują kilka metod schładzania krów. Podstawą jest zapewnienie cienia zwierzęciu w postaci pasów zadrzewień lub wiat na pastwiskach. Chroni to przed bezpośrednim działaniem promieniowania słonecznego, jest to zarówno najłatwiejsza jak i najtańsza z metod [1].

Najpopularniejszym rozwiązaniem w Polsce są wielkoprzepustowe wentylatory osiowe lub sufitowe [1]. Dostępne na rynku są wentylatory osiowe o różnych średnicach (0,7–1,27 m) i wydajnościach (do 40 tys. m<sup>3</sup>/h). Natomiast wentylatory sufitowe o średnicach z zakresu od 4,5 do 7,3 m. Mogą osiągać znacznie większą wydajność od wentylatorów osiowych (ok. 300 tys. m<sup>3</sup>/h) [3]. Zwiększenie prędkości przepływu powietrza w otoczeniu krowy pozwala na obniżenie tzw. temperatury odczuwalnej zwierzęcia, co sprzyja redukcji stresu cieplnego u krowy.

Aby usprawnić system wentylatorowy wprowadza się dodatkowo zraszacze do obory [1]. Krople wody zwilżają sierść i skórę krowy. Natomiast zamontowane i zintegrowane ze zraszczaczami wentylatory wymuszają ruch powietrza, powodując schłodzenie ewaporowanej powierzchni. Zraszacze są rozpylane w oborze pod niskim ciśnieniem (10–40 psi). Oprócz zraszaczy w oborach montowane są mgiełnice z dyszami zamglawiającymi, które rozpylają krople wody o średnicy poniżej 10 μm pod wysokim ciśnieniem (>200 psi). Dochodzi do bezpośredniego kontaktu gorących cząsteczek powietrza z kropelkami wody, następuje proces parowania, dzięki wymianie ciepła między cząsteczkami powietrza a wody [1].

Wymienione metody zapewniają obniżenie temperatury otoczenia w oborze, regulują jednocześnie wilgotność powietrza, zaś sam budynek chroni zwierzę przed promieniowaniem słonecznym. Ponieważ krowa większość czasu spędza leżąc na legowisku (12–14 h) pokrytym piaskiem lub ściółką zbyt częste nawilżanie tych miejsc sprzyjałoby rozwojowi wielu bakterii, które w konsekwencji mogłyby spowodować długotrwałe choroby wymion [3]. Systemy nawilżające nie działają zatem w sposób ciągły, przez co zwierzę nie ma zapewnionego pełnego komfortu cieplnego.

Najnowszym spośród powyżej wymienionych sposobów chłodzenia bydła jest metoda oparta na kondukcyjnym odbiorze ciepła od krowy [2]. Metoda ta jest aktualnie rozwijana w projekcie RadMAT: Radiacyjny Materac Wodny, finansowanym przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej w ramach programu Polskie Powroty 2018 (strona internetowa projektu: [www.radmat.eu](http://www.radmat.eu)). Projektowane legowisko jest w formie przepływowego gumowego materaca wodnego, do którego wtłaczana jest woda lodowa. Rys. 1b. przedstawia koncepcję tego rozwiązania. Miętkość konstrukcji pozwala zniwelować u krów występowanie kulawizny, otarć i różnego rodzaju zranień w okolicach racic. A co najważniejsze metoda ta zapewnia ciągły komfort termalny zwierzęcia oraz czystość stanowiska, gdyż wypukły kształt materaca zapewnia również spływ uryny i mleka poza jego powierzchnię, poprawiając warunki higieniczne krowy.

Zarówno wszystkie powyżej opisane metody, jak i inne zostaną omówione podczas prezentacji.

## Literatura

- [1] Angrecka S. i in., *Prognozowanie możliwości wystąpienia stresu cieplnego u bydła mlecznego*, „Wiadomości Zootechniczne” 2012, Vol. 4, s. 99–105.
- [2] Bastian K. R. i in., *A finite difference model to determine conduction heat loss to a water-filled mattress for dairy cows*, “American Society of Agricultural Engineers” 2003, Vol. 46, No. 3, pp. 773–780.
- [3] Kaczor A., *Stres cieplny u krów a możliwość poprawy warunków mikrobiologicznych w oborach (część II)*, „Wiadomości Zootechniczne” 2018, Vol. 4, s. 112–119.



# BADANIA NUMERYCZNE I EKSPERYMENTALNE MINIATUROWEJ CHŁODZIARKI JOULE’A–THOMSONA WYKONANEJ W TECHNOLOGII LTCC

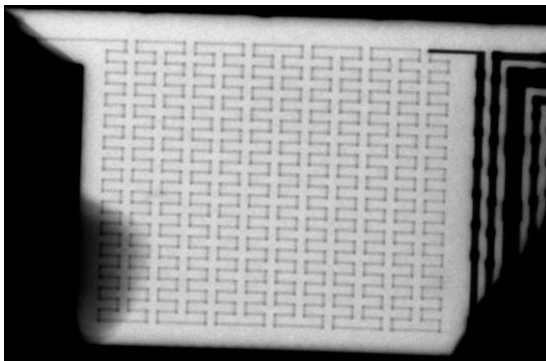
## NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MINIATURE CRYOCOOLER CONSTRUCTED USING LOW-TEMPERATURE COFIRED CERAMIC TECHNOLOGY

*Błażej Baran*

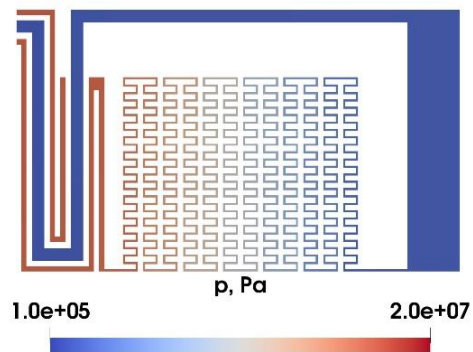
*Politechnika Wroclawska, Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej*

Technologia LTCC (niskotemperaturowa ceramika współspiekana) udowodniła swoją skuteczność w układach w skali mikro oraz nano. Pozwala na budowanie układów wymagających bardzo wysokiej precyzji w procesach mieszania czy chłodzenia, na przykład w miniaturowych reaktorach chemicznych i biochemicznych oraz czujnikach [1].

Główną przewagą technologii LTCC jest łatwość produkcji [2] (względem procesów używanych do wytworzenia miniaturowych chłodziarek kriogenicznych) oraz bardzo wysoka wytrzymałość, co pozwala na jej zastosowanie w warunkach wysokiego ciśnienia i skrajnych temperatur. W związku z tym, technologia ta została użyta do wytworzenia miniaturowej chłodziarki Joule’a–Thomsona pracującej na sprężony azot, z zimnym końcem pracującym w temperaturze rzędu 80 K. Rozmiary urządzenia są rzędu 100 mm, a szerokości kanału sekcji Joule’a–Thomsona rzędu 0,1 mm.



Rys. 1. Zdjęcie rentgenowskie sekcji Joule’a–Thomsona wyprodukowanej chłodziarki



Rys. 2. Rozkład ciśnienia uzyskany na drodze symulacji CFD

W celu ewaluacji technologii LTCC w zastosowaniach kriogenicznych, na zaprojektowanej i wytworzonej na Politechnice Wroclawskiej chłodziarce zostały wykonane próby ciśnieniowe, jak również symulacje CFD przepływu bazujące na geometrii urządzenia.

W pracy pokazano, że technologia LTCC ma duży potencjał na bycie wykorzystaną w kriogenice, prowadząc do ułatwienia procesu produkcyjnego miniaturowych chłodziarek oraz w konsekwencji uczynienia miniaturowych chłodziarek kriogenicznych łatwiej dostępnymi.

## Literatura

- [1] Malecha K., *The implementation of fluorescence-based detection in LTCC (low temperature cofired ceramics) microfluidic modules*, “International Journal of Applied Ceramic Technology” 2016, Vol. 13, No. 1, pp. 69-77.
- [2] Imanaka Y., *Multilayered low temperature cofired ceramics (LTCC) technology*, Springer, 2005.

---

**BADANIA NUMERYCZNE MOŻLIWOŚCI  
INTENSYFIKACJI WYMIANY CIEPŁA  
WYKORZYSTUJĄCEJ ZJAWISKO  
STREAMINGU AKUSTYCZNEGO**

**NUMERICAL STUDIES OF THE POSSIBILITIES  
OF HEAT EXCHANGE INTENSIFICATION  
USING THE PHENOMENON OF ACOUSTIC STREAMING**

*Krzysztof Machaj, Ziemowit Malecha*  
*Politechnika Wroclawska, Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej*

W pracy przeprowadzono badania numeryczne streamingu akustycznego, wywołanego drgającą ścianą z częstotliwością 20 kHz oraz 40 kHz, w kanale o przekroju prostokątnym. Częstotliwość oscylacji ściany dostosowano do długości kanału tak aby wytworzyć sinusoidalną falę stojącą. Uśredniono przepływ w kanale i pokazano strukturę przepływu będącego streamingiem akustycznym. Dodatkowo wprowadzono różnicę temperatur pomiędzy górną i dolną ścianą kanału. Pokazano, że streaming akustyczny intensyfikuje wymianę ciepła między ścianami kanału. Pokazano, że intensywność streamingu akustycznego zwiększa się wraz z różnicą temperatury między ścianami. Pokazano, że omawiane zjawisko może być potencjalnie wykorzystana do chłodzenia elektroniki w warunkach braku grawitacji (braku konwekcji naturalnej).

# WPLYW CIŚNIENIA WODY ORAZ ODLEGŁOŚCI OD DYSZY NA GĘSTOŚĆ STRUMIENIA CIEPŁA PRZEJMOWANEGO PRZY WRZENIU PODCZAS CHŁODZENIA LAMINARNEGO

## THE INFLUENCE OF PRESSURE AND THE NOZZLE DISTANCE ON THE HEAT FLUX TRANSFERRED AT BOILING DURING COOLING BY WATER JET

*Kamil Jasiewicz, Elżbieta Jasiewicz, Beata Hadała, Agnieszka Cebo-Rudnicka, Zbigniew Malinowski  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Potrzeba szybkiego odprowadzania dużych ilości ciepła z gorących powierzchni występuje m.in. w przemyśle metalurgicznym, w którym przeprowadza się wiele procesów wysokotemperaturowych, do których należą m.in. procesy ciągłego odlewania stali, walcowania czy obróbki cieplnej. Jedną z metod chłodzenia, pozwalającą na spełnienie tych wymagań jest chłodzenie strugami wody. W metalurgii ten rodzaj chłodzenia wykorzystuje się m.in. w celu chłodzenia pasma po odkształcaniu w walcowniach gorących blach (chłodnie laminarne). Pomimo, iż badania dotyczące chłodzenia laminarnego strugami wody realizowane są już od wielu lat, mechanizmy związane z odprowadzeniem ciepła z powierzchni nadal nie są do końca poznane. Związane jest to z występowaniem procesu wrzenia, podczas kontaktu cieczy chłodzącej z rozgrzaną powierzchnią. Proces ten jest złożony i zależy od wielu parametrów m.in. odległości dyszy od powierzchni chłodzonej oraz ciśnienia cieczy. Określenie wpływu tych parametrów na wartość współczynnika wymiany ciepła oraz gęstość strumienia ciepła przejmowanego podczas chłodzenia poziomej powierzchni płaskiej strugą wody jest przedmiotem niniejszych badań.

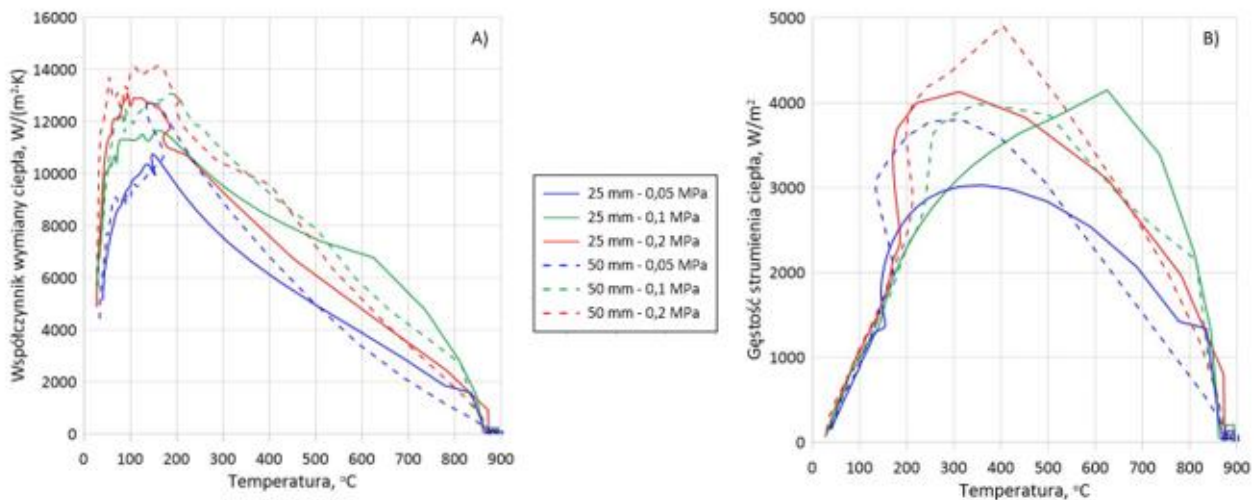
Wyznaczenie gęstości strumienia ciepła i współczynnika wymiany ciepła podczas chłodzenia strugą wody odbywało się w dwóch etapach. W pierwszym etapie przeprowadzono badania na stanowisku eksperymentalnym. Pomiaru pozyskane podczas chłodzenia na stanowisku badawczym, posłużyły jako dane wejściowe do programu numerycznego, rozwiązującego zagadnienie odwrotne dla osiowosymetrycznego przewodzenia ciepła. Działanie programu opiera się na wyznaczeniu gęstości strumienia ciepła na powierzchni chłodzonej na podstawie pomiaru zmian temperatury w kilku punktach wewnątrz badanego czujnika w czasie chłodzenia. W programie założono zmianę właściwości termofizycznych materiału czujnika wraz z temperaturą.

Badania na stanowisku pomiarowym przeprowadzono dla osiowosymetrycznego czujnika, wykonanego ze stopu Inconel 600. Wysokość czujnika oraz jego średnica wynosiły 20 mm. Czujnik został umiejscowiony w osłonie, wykonanej z tego samego materiału. Pomiedzy osłoną o czujnikiem pozostawała przestrzeń wypełniona powietrzem. Układ złożony z czujnika i osłony umieszczono w stalowym uchwycie, częściowo wypełnionym materiałem izolacyjnym.

Identyfikacja warunków brzegowych wymiany ciepła metodą odwrotną wymagała wprowadzenia do programu zmian temperatury czujnika w trzech punktach w czasie jego chłodzenia. Czujnik był nagrzewany w piecu elektrycznym do momentu, w którym temperatura w jego objętości wynosiła około 900°C. Następnie czujnik był przenoszony do komory chłodzenia. Podczas automatycznego przemieszczania, którego czas wynosił około 1 s, czujnik był chłodzony w powietrzu. W kolejnym etapie następowało chłodzenie go strugą wody wypływającą z dyszy o średnicy 2,7 mm. Temperatura wody, używanej do chłodzenia wynosiła około 16°C. Chłodzona była czołowa, pozioma, powierzchnia czujnika. Woda była podawana prostopadłe do tej powierzchni. Badania przeprowadzono dla dwóch odległości dyszy od powierzchni chłodzonej wynoszących: 25 mm i 50 mm, oraz dla trzech ciśnień wody wynoszących: 0,05 MPa, 0,1 MPa oraz 0,2 MPa.

Pomiary, zmian temperatury czujnika w czasie, przeprowadzono za pomocą termoelementów typu K w trzech punktach położonych 2 mm pod powierzchnią chłodzoną. Termoelementy rozmieszczono wzdłuż promienia czujnika: w osi, w połowie promienia oraz 1 mm od krawędzi. Wyniki pomiarów eksperymentalnych zostały następnie zaimplementowane jako warunki początkowe w programie, który pozwolił na wyznaczenie rozkładu gęstości strumienia ciepła oraz współczynnika wymiany ciepła na powierzchni chłodzonej. Na podstawie rozkładów tych wielkości, wyznaczono ich wartości średnie w obszarach wyznaczonych przez promienie: 1,6 mm, 5,6 mm oraz 10 mm.

Na rysunku 1 przedstawiono wykresy zależności średnich wartości współczynnika wymiany ciepła oraz gęstości strumienia ciepła od średniej temperatury powierzchni dla obszaru powierzchni wyznaczonego przez promień 10 mm.



Rys. 1. Zmiana średniego współczynnika wymiany ciepła (A) i średniej gęstości strumienia ciepła (B) na obszarze powierzchni, wyznaczonym przez promień wynoszący 10 mm, w zależności od średniej temperatury powierzchni

W obszarze wyznaczonym promieniem 10 mm, w przypadku, gdy odległość między powierzchnią chłodzoną a dyszą wynosiła 25 mm, maksymalne wartości średniego współczynnika wymiany ciepła mieściły się w zakresie od ok. 10 500 W/(m<sup>2</sup>·K) do ok. 13 000 W/(m<sup>2</sup>·K). Zwiększenie odległości między dyszą a powierzchnią chłodzoną spowodowało wzrost wartości maksymalnych średniego współczynnika wymiany ciepła (rys. 1A). Dla tego przypadku maksimum średnich wartości współczynnika mieściło się w zakresie od ok. 12 800 W/(m<sup>2</sup>·K) do ok. 14 000 W/(m<sup>2</sup>·K). Wzrost ciśnienia cieczy spowodował wzrost średnich wartości współczynnika wymiany ciepła, niezależnie od odległości dyszy od powierzchni chłodzonej. Przyczyną tego zjawiska jest fakt, że wraz ze zwiększeniem ciśnienia wzrasta prędkość i gęstość strumienia cieczy podawanej na powierzchnię. Największy wpływ na to zjawisko ma prędkość wody padającej na powierzchnię chłodzoną. Wraz ze wzrostem odległości dyszy od powierzchni zwiększa się rozproszenie strugi, co pozwala uzyskać bardziej intensywne chłodzenie.

Średnia gęstość strumienia ciepła, dla wariantów, w których odległość dyszy od powierzchni wynosiła 50 mm, wzrastała wraz ze wzrostem ciśnienia (rys. 1B). W przypadku zmniejszenia odległości między dyszą a powierzchnią chłodzoną do 25 mm, także można zaobserwować wzrost maksymalnej wartości średniej gęstości strumienia ciepła wraz ze wzrostem ciśnienia. Jednak zmiana ciśnienia z 0,1 do 0,2 MPa nie spowodowała znaczącej zmiany maksymalnej wartości średnich gęstości strumienia ciepła. Było to spowodowane bardziej efektywnym procesem chłodzenia czujnika w zakresie temperatury od ok. 800°C do ok. 500°C dla ciśnienia wynoszącego 0,1 MPa. W przypadku pomiarów, w których ciśnienie wody wynosiło 0,1 MPa wzrost odległości między dyszą a powierzchnią chłodzoną spowodował spadek średnich wartości gęstości strumienia ciepła. Dla pomiarów, w których ciśnienie cieczy wynosiło 0,05 MPa oraz 0,2 MPa, wzrost odległości dyszy od powierzchni przyczynił się do wzrostu średnich wartości gęstości strumienia ciepła.



# ANALIZA EKSPERYMENTALNA TESTOWEGO REGAZYFIKATORA KRIOGENICZNEGO W SYSTEMIE SAMOCHODOWYM

## EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE AUTOMOTIVE CRYOGENIC REGASIFICATOR

*Jakub Kielar*

*Politechnika Wroclawska, Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej*

Skroplony gaz ziemny (LNG) jest surowcem energetycznym o rosnącym udziale w światowej ekonomii, na rok 2030 prognozuje się zapotrzebowanie rzędu 500 milionów ton [1]. Ze względu na zaostrzające się przepisy dotyczące emisji gazów cieplarnianych oraz innych czynników szkodliwych dla ziemskiej atmosfery, wymagana jest systemowa zmiana dotychczasowych rozwiązań technologicznych. Od 1 stycznia 2020 roku na wodach morskich wprowadzono regulacje zmniejszające dopuszczalne emisje tlenków siarki z 3.5% do 0.5% [2], co wymusza stosowanie zaawansowanych układów oczyszczania spalin lub wykorzystanie innych źródeł energii, jak chociażby LNG. Na wzrost znaczenia LNG w transporcie drogowym wskazuje stale rosnąca liczba pojazdów zasilana skroplonym gazem ziemnym – do roku 2025 prognozuje się ponad dziesięciokrotny wzrost liczby takich pojazdów na rynku europejskim [3].

Wykorzystanie paliwa kriogenicznego o niskiej temperaturze parowania około 120 K (–153°C) wymaga zastosowania specjalnych układów, z czego kluczowym jest system regazyfikacji, który odpowiada za odparowanie i przegrzanie gazu ziemnego przed doprowadzeniem go do silnika. Zaprojektowano układ regazyfikacyjny dla ciężarówki zasilanej LNG, gdzie rolę regazyfikatora spełnia wymiennik spiralny a czynnikiem grzewczym jest woda z układu chłodzenia silnika. Ze względu na niską temperaturę odparowania LNG istnieje ryzyko zamarzania wody grzewczej na powierzchni wymiennika oraz ryzyko całkowitego zamarznięcia wymiennika w wyniku awarii układu doprowadzającego wodę grzewczą do regazyfikatora. Przeprowadzono badania eksperymentalne z wykorzystaniem ciekłego azotu mające na celu analizę wcześniej wymienionych zjawisk, walidację modeli matematycznych zawartych w projekcie wymiennika oraz określenie możliwości zastosowania zaworu zwrotnego jako mechanizmu umożliwiającego przywrócenie przepływu wody grzewczej po zamarznięciu części czynnej wymiennika.

Badania i projekt zostały wykonane w ramach projektu z funduszu NCBiR o numerze POIR.01.01.01-00-0842/16-00, 2016–2022 „Optymalizacja systemów zasilających napędy pracujące w transporcie morskim, drogowym i kolejowym, które wykorzystują gaz naturalny w postaci skroplonej” dla Remontowa LNG Systems.

## Literatura

- [1] Banaszkiwicz T., Chorowski M., Gizicki, W., Jedrusyna A., Kielar J., Malecha Z., Piotrowska A., Polinski J., Rogala Z., Sierpowski K., Skrzypacz J., Stanlik M., Tomczuk K., Dowżenko P., *Liquefied Natural Gas in Mobile Applications – Opportunities and Challenges*, “Energies” 2020, Vol. 13, 5673.
- [2] International Maritime Organization, *Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions*, dostęp online: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>.
- [3] The Oxford Institute for Energy Studies, *A Review of Prospects for Natural Gas as a Fuel in Road Transport*, dostęp online: <https://www.oxfordenergy.org/publications/review-prospects-natural-gas-fuel-road-transport/>.





# **X SESJA REFERATOWA**

**MASZYNY PRZEPŁYWOWE  
ORAZ MAGAZYNY ENERGII**

**FLUID-FLOW MACHINERY  
AND ENERGY STORAGE SYSTEMS**



# NUMERYCZNE BADANIE WYBRANYCH PARAMETRÓW GEOMETRYCZNYCH WENTYLATORA PROMIENIOWEGO O ZABUDOWIE OSIOWEJ

## COMPUTATIONAL RESEARCH OF SELECTED GEOMETRY PARAMETERS OF IN-LINE CENTRIFUGAL FAN

*Tomasz Kuś, Tomasz Siwek*

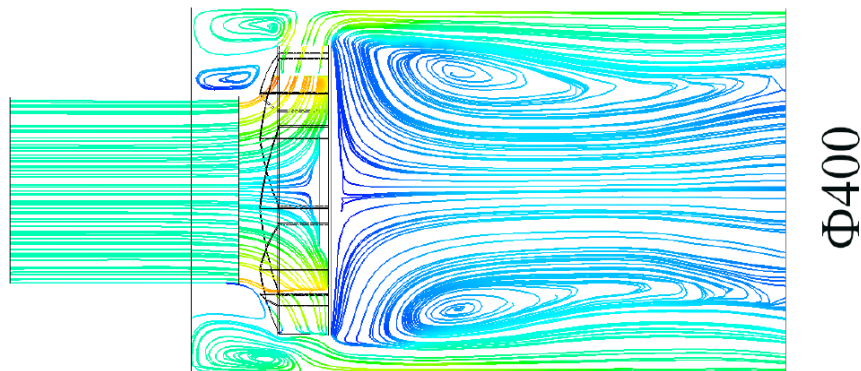
*AGH Akademia Górniczo-Hutniczna im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Wentylatory, jako obowiązkowe elementy instalacji wentylacji i klimatyzacji znacząco wpływają na globalne zużycie energii. Według IEA, systemy chłodnicze w 2016 miały około 10% udziału w globalnej konsumpcji energii elektrycznej [1]. Dlatego kluczem do oszczędzania energii, a tym samym zmniejszenia kosztów oraz ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko jest wysokosprawna praca tych urządzeń. Najczęściej wentylatory dzielimy na promieniowe i osiowe. Promieniowe charakteryzują się zwartą budową, wysokimi przyrostami ciśnienia przy niedużych wydatkach objętościowych, natomiast osiowe – małymi przyrostami ciśnienia, dużymi wydatkami objętościowymi i znacznymi wymiarami. Zalety obu typów wentylatorów łączą wentylatory promieniowe w zabudowie kanałowej [3]. Ze względu na korzystne parametry pracy, a także liniowy montaż szybko zyskują na popularności. Główną wadą tego nietypowego wariantu jest brak usystematyzowanej wiedzy na projektowania, co skutkuje niską sprawnością tego typu urządzeń. Dlatego tematem badań jest numeryczna analiza wybranych parametrów geometrycznych (średnica zabudowy kanałowej, geometria kanału międzyłopatkowego) wentylatora promieniowego pracującego w zabudowie kanałowej. Obliczenia przeprowadzono w oparciu o numeryczną mechanikę płynów CFD, przy pomocy solvera CFX.

Etap pre-processingu obejmował przygotowanie sparametryzowanej geometrii wirnika wraz z zabudową kanałową oraz kanałem ssącym, w oparciu o DesignModeler, dostępny w ramach Ansys Workbench. Dzięki temu możliwa była dowolna zmiana średnicy zabudowy, a także zmiana geometrii kanału międzyłopatkowego poprzez zmianę geometrycznego kąta na wlocie  $\beta_1$ . Geometrię wirnika wykonano na podstawie dokumentacji technicznej wirnika F2 firmy OWENT. Całość geometrii „wypełniono” płynem, co pozwoliło na stworzenie trzech domen obliczeniowych. Kluczowe z punktu widzenia dokładności obliczeń było stworzenie wysokiej jakości siatki numerycznej. Dlatego przygotowano dwie siatki o różnej liczbie elementów, na których przeprowadzono obliczenia. W oparciu o wskaźniki jakościowe, a także obliczoną wstępnie wartość bezwymiarowej odległości od ściany  $Y^+$ , wybrano siatkę bardziej komplementarną z przyjętym modelem numerycznym.

Z racji niedużych przyrostów ciśnienia w przepływie przez tego typu wentylatory, przyjęto założenie izotermiczności przepływu, pozwalające na skrócenie czasu obliczeń. Obliczenia przeprowadzono za pomocą równań RANS, domkniętych modelem turbulencji SST  $k-\omega$ , bazując na metodzie objętości skończonych. Model turbulencji SST  $k-\omega$  łącząc zalety modeli  $k-\omega$  oraz  $k-\epsilon$ , dobrze sprawdza się zarówno w obliczeniach dotyczących rdzenia przepływu jak również w strefach przyściennych. Umożliwia to uwzględnienie oderwań, których identyfikacja jest kluczowa z punktu widzenia wysokosprawnej pracy maszyn rotodynamicznych.

Przeprowadzone obliczenia pozwoliły stwierdzić, że poza geometrią samego wirnika, również geometria zabudowy ma kluczowy wpływ na sprawność procesu przekazywania energii do przepływającego medium. Problem tworzenia się dużych struktur wirowych zidentyfikowano jako główny powód niskich sprawności w porównaniu do zabudowy spiralnej. Konieczne jest zatem odpowiednie ukierunkowanie strugi gazu poprzez zastosowanie elementów dyfuzorowych. Jest to szczególnie ważne, biorąc ze względu fakt, że produceni często pomijają ten aspekt, adaptując bezpośrednio wirnik z zabudowy spiralnej do kanałowej, bez jakichkolwiek zmian konstrukcyjnych.



Rys. 1. Struktury wirowe w rozkładzie średnich linii prądu w przekroju osiowym wentylatora

Parametryzacja geometrii umożliwiła również zmianę kąta łopatkowego  $\beta_1$  na wlocie do wirnika, a co za tym idzie zmianę całej geometrii kanału międzyłopatkowego. Dla tego nietypowego wariantu pracy wirnika promieniowego, dotychczasowe zalecenia projektowe kątów wlotowych nie sprawdziły się. Ponadto, wybór kąta wlotowego nie tylko pozwalał na wzrost sprawności (zazwyczaj o kilka p.p.), ale umożliwiał również zmianę położenia optymalnego punktu pracy. Poza metodą CFD, badania urozmaicono wykorzystując również tradycyjne podejście związane z analizą trójkątów prędkości. Prędkość bezwzględna (widziana z perspektywy nieruchomego obserwatora z poza układu) można przedstawić jako złożenie ruchu względnego oraz ruchu unoszenia i wyrazić zależnością (1). Dzięki kombinacji tych dwóch metod, możliwe jest wyznaczenie nie tylko teoretycznych, ale również rzeczywistych trójkątów prędkości. Umożliwia to jeszcze dokładniejszą analizę sposobu przekazywania energii przez elementy płynu.

$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w} \quad (1)$$

gdzie:  $c$  jest wektorem prędkości bezwzględnej,  $u$  – wektorem prędkości unoszenia,  $w$  – wektorem prędkości względnej.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że zwiększanie wymiaru średnicy zabudowy osiowej do pewnego zakresu powoduje znaczący wzrost sprawności całkowitej. Rozpatrując pracę w optymalnych punktach, wzrost sprawności sięgał maksymalnie 15 punktów procentowych. Odpowiadało to pracy wirnika przy największej rozpatrywanej średnicy  $\Phi = 800$  mm. Poprawa sprawności całkowitej na skutek zmiany kąta wlotowego była zauważalna w przypadku mniejszych średnic zabudowy i wahała się w zakresie 1–4 p.p. w obszarze optymalnego działania. Oba rozpatrywane parametry geometryczne wpływają na położenie optymalnego punktu pracy, co może być użyteczne z punktu widzenia wysokosprawnej pracy wentylatora przy wymaganej wydajności. Ponadto zidentyfikowano znaczne struktury wirowe, których ograniczenie jest niezbędne do poprawienia osiągniętych wyników niestandardowego wariantu pracy.

## Literatura

- [1] International Energy Agency, *The future of cooling. Opportunities for energy-efficient air conditioning*, IEA, 2018.
- [2] Kuś T., *Numeryczne badanie wpływu średnicy zabudowy kanałowej na pracę wentylatora promieniowego*, praca magisterska, Kraków 2020.
- [3] Siwek T., *Badania przepływów w wentylatorze z wirnikiem promieniowym o zabudowie osiowej*, rozprawa doktorska, Kraków 2017.

# DOBÓR SPOSOBU DEKONTAMINACJI ZBIORNIKÓW MAGAZYNOWYCH ROPY

## SELECTION OF THE METHOD OF DECONTAMINATION OF OIL STORAGE TANKS

*Michał Czerep<sup>1</sup>, Janusz Rogula<sup>1</sup>, Halina Pawlak-Kruczek<sup>1</sup>, Piotr Stemporski<sup>2</sup>, Wojciech Krasodomski<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Politechnika Wroclawska, Katedra Mechaniki, Maszyn, Urządzeń i Procesów Energetycznych*

*<sup>2</sup>CLIMBEX sp. z o.o.*

*<sup>3</sup>Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

Ropa naftowa stanowi jedno z najważniejszych źródeł energii, surowców i paliw. Ropa naftowa oraz jej produkty rafineryjne i petrochemiczne są przechowywane w wielkogabarytowych zbiornikach o średnicy od 50 m do 160 m, np. w Arabii Saudyjskiej.

Wielkogabarytowe zbiorniki magazynowe ropy naftowej muszą okresowo być poddawane czyszczeniu. Wynika to z obowiązujących przepisów prawnych dotyczących przeglądów technicznych czy zmiany magazynowanego produktu [1].

W wyniku przechowywania produktu w zbiorniku, w jego objętości nad powierzchnią ropy występują opary niebezpiecznych związków węglowodorowych jak benzen, toluen, ksylen i siarkowodór, a na jego dnie gromadzi się osad. Skład osadów kumulujących się na dnie zbiornika jest bardzo różnorodny, ale generalnie zawierają one węglowodory lotne, węglowodory ciężkie oraz składniki nieorganiczne, tj. piasek, rdzę czy glinę. Osady w zbiornikach ropy naftowej zawierają również siarkowodór, który stanowić może zagrożenie dla zdrowia i życia i jego sole. Szczególnie niebezpieczny jest siarczek żelaza, który może być źródłem samozapłonu.

Z uwagi na bardzo niebezpieczne warunki prowadzenia procesu czyszczenia ogólnie obowiązującym kierunkiem jest dążenie do ograniczenia bądź wyeliminowania pracy ludzkiej wewnątrz zbiornika. Czyszczenie zbiornika, w którym były przechowywane produkty naftowe, wymaga zachowania szczególnej ostrożności i zapewnienia bezpieczeństwa wykonujących je pracowników [2]. Ochrona człowieka w środowisku pracy w przemyśle rafineryjnym jest obwarowana krajowymi aktami prawnymi zgodnymi z dyrektywami unijnymi w zakresie kształtowania warunków pracy, w tym ochrony pracowników przed narażeniem na czynniki chemiczne i fizyczne.

W zakresie czyszczenia obecnie wykorzystuje się metody ręczne i zautomatyzowane technologie, np. ATC (ang. *Automated Tank Cleaning*), którą stosuje firma Climbex. Metoda ta pozwala wykonać prace czyszczenia zbiorników szybciej i bezpieczniej. Zastosowanie metody czyszczenia ATC wpływa zarówno na poprawę warunków ochrony środowiska, jak i poprawę bezpieczeństwa pracy. Dodatkowym atutem jest zminimalizowanie wytwarzanych odpadów poprzez odzysk węglowodorów z osadów dennych. Proces czyszczenia z wykorzystaniem technologii ATC pozwala na odzysk węglowodorów z osadów dennych na poziomie nawet do 95% w stosunku do pierwotnej objętości osadu. System ATC pozwala skutecznie wyczyścić zbiornik po produktach ropopochodnych z osadów dennych, bezpiecznie je wyseparować i oczyścić. Może być stosowany przy zbiornikach zarówno z dachem pływającym jak i stałym. Sposób zautomatyzowanego systemu czyszczenia co ważne bardzo ogranicza udział człowieka w procesie czyszczenia.

Ze względu na właściwości ropy naftowej, przy czyszczeniu niezbędne jest zachowanie szczególnych środków ostrożności. Niezbędna jest ciągła kontrola atmosfery, gdyż do całkowitego usunięcia osadów w każdej chwili stężenie gazów może przekroczyć dolną granicę wybuchowości. Zagrożenia wybuchem mogą wynikać z wyładowań elektrostatycznych, spowodowanych nieumiejętnie prowadzonymi pracami. Zagrożenie stanowią również silnie naelektryzowane aerozole powstające podczas mycia zbiorników sprężonym strumieniem cieczy o podwyższonej temperaturze. W celu zapewnienia bezpiecznych warunków realizacji procesu, w czyszczonym zbiorniku wytwarzana jest atmosfera obojętna (azotowa).

Należy zauważyć, że obecnie stosowane technologie automatycznego czyszczenia posiadają jedną słabość. Wspomniany słaby punkt dotyczy momentu po zakończeniu wskazanej powyżej fazy zautomatyzowanego usuwania osadów z dna zbiornika.

Przed jego finalnym doczyszczeniem, w zbiorniku pozostają po fazie usuwania osadów z dna zbiornika resztki osadów ropnych, które emitują liczne szkodliwe związki, w tym benzen, toluen i ksylen oraz siarkowodór, co czyni środowisko wewnątrz zbiornika nadal niebezpiecznym dla ludzi. Tym samym, aby było możliwe przejście do finalnego etapu oczyszczania zbiornika przez ludzi należy usunąć z niego wszystkie niebezpieczne związki, tak aby zapewnić bezpieczne warunki ekipie czyszczącej. Obecnie jest to osiągnięte w najbardziej oczywisty sposób, to jest poprzez wentylację czyszczonego zbiornika, a zanieczyszczona węglowodorami faza gazowa przy użyciu wentylatorów jest usuwana ze zbiornika i emitowana do atmosfery.

Obecnie, zgodnie z wiedzą autorów żaden automatyczny system (proces) czyszczenia nie obejmuje procesu dekontaminacji, co skutkuje emisją do atmosfery szkodliwych substancji emitowanych przez osad pozostający na dnie zbiornika, w tym benzenu, toluenu, ksylenu oraz siarkowodoru. Znaczne obniżenie stężeń związków niebezpiecznych występujących w procesie można osiągnąć dzięki procesowi dekontaminacji stosując pełne wypełnienie, aerozolem środka dekontaminującego, zbiornika.

Zgodnie z założeniem po przeprowadzonym procesie dekontaminacji pożądane jest osiągnięcie stężeń szkodliwych związków w zbiorniku na poziomie określonym przez Ministra Pracy i Polityki społecznej w rozporządzeniu z 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, tj. poniżej:

- benzen – do 1,6 mg/m<sup>3</sup>,
- pentan, izopentan, n-pentan – do 3000 mg/m<sup>3</sup>,
- toluen – do 100 mg/m<sup>3</sup>,
- ksylen – do 100 mg/m<sup>3</sup>,
- siarkowodór – 7 mg/m<sup>3</sup>.

W badaniach prowadzonych w projekcie ważnymi aspektami, są oprócz doboru czynnika dekontaminującego [3] bezpieczny i zautomatyzowany sposób jego rozpylenia w całej objętości zbiornika, a następnie jego usunięcie ze zbiornika i neutralizacja.

W badaniach przedstawionych w pracy testowano stopień rozpylenia i zasięg w zależności od rodzaju dysz rozpylających aby dobrać odpowiednie konfiguracje dysz gwarantująca wypełnienie zbiornika.

Osiągnięcie założonych rezultatów znajdzie bezpośrednie przełożenie zarówno na zanieczyszczenie środowiska, jak i na bezpieczeństwo ludzi.

Praca wykonywana jest w ramach projektu finansowego przez NCBIR POIR.01.01.01-00-0447/18-00.

## Literatura

- [1] Kulczycki W., *Czyszczenie zbiorników magazynowych ropy naftowej*, „Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji” 1998, Vol. 7, No. 46, s. 26–27.
- [2] Makles Z., *Bezpieczeństwo pracy przy magazynowaniu i transporcie ropy naftowej oraz produktów ropopochodnych*, „Bezpieczeństwo Pracy: Nauka i Praktyka” 2004, Vol. 1, s. 15–20.
- [3] XV Międzynarodowa Konferencja „Zbiorniki, rurociągi, instalacje 2019” – prezentacja pt. *Automatyczne czyszczenie wielkogabarytowych zbiorników magazynowych ropy naftowej z aspektem dekontaminacji toksycznych gazów węglowodorowych*, Iskierski M., Krasodomski W., Poznań, 10.01.2019 r.



# ANALIZA DYNAMIKI ZMIAN POZIOMU WODY W PIEZOMETRACH ZAPORY DOBCZYCE W LATACH 2017–2019

## ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF WATER LEVEL CHANGES IN PIEZOMETERS OF THE DOBCZYCE DAM IN THE STUDY PERIOD 2017–2019

*Stanisław Lach*

*Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska*

Budowla piętrząca to budowla, która przegradza dolinę rzeki i przyczynia się do sztucznego spiętrzenia wód związanego z powstaniem zbiornika wodnego. Utworzony zbiornik ma za zadanie ustabilizowanie przepływu wody w rzece. Zbiorniki umożliwiają magazynowanie wody w sytuacji gdy występuje ona w nadmiarze, a następnie jej wykorzystanie w czasie niedoboru. Zapory natomiast umożliwiają zapobieganie skutkom powodzi dzięki temu, iż modyfikują przebieg fali powodziowej oraz w znacznym stopniu pozwalają obniżyć jej szczyt. Spiętrzona woda służy przede wszystkim do produkcji energii elektrycznej, prowadzenia nawodnień, zaopatrzenia zakładów przemysłowych oraz miast, uprawiania sportów wodnych, a także rozwijania rybołówstwa, wypoczynku oraz turystyki [1]. Budowa zapór oraz istnienie tworzonych przez nie zbiorników wodnych stanowi bardzo istotny element w życiu społeczeństwa. Budowle hydrotechniczne, ze względu na to, że są obiektami bardzo masywnymi, wymagają stosowania ciągłych metod diagnostycznych oraz podlegają stałej obserwacji. W związku z tym, iż monitorowanie i diagnozowanie informuje o stanie technicznym obiektu, procesy te pomagają w sformułowaniu odpowiednich ocen, a w szczególności oceny bezpieczeństwa obiektu hydrotechnicznego [2]. W celu prawidłowej pracy i bezpieczeństwa eksploatacji budowli piętrzących dokonuje się stałego monitoringu, którego celem jest rejestracja i prognozowanie zmian, jakie zachodzą w podłożu i konstrukcji budowli, a także ocena stanu technicznego budowli. Monitoring jest to najczęściej ciągły i długoterminowy, a także zorganizowany sposób obserwacji obiektu lub procesu. Monitorowanie obiektu określa więc systematyczne obserwacje, pomiary i badania służące do oceny stanu technicznego oraz bezpieczeństwa tego obiektu [3].

Celem pracy było przedstawienie oraz przeanalizowanie dynamiki zmian stanu wód w pomiarach piezometrycznych uzyskanych dla zapory Dobczyce w latach 2017–2019. Przed przystąpieniem do analizy danych piezometrycznych odrzucono obserwacje odstające, które w sposób znaczący mogły wpłynąć na jej wynik oraz spowodować fałszywą ocenę lub interpretację zjawiska poddawanego analizie. Pomiary wykonywane były prawie zawsze 2 razy w miesiącu, co w okresie objętym analizą dało 71 wyników pomiarowych dla pojedynczego piezometru.

## Literatura

- [1] Międzynarodowa Komisja Wielkich Zapór (ICOLD), *Dams and the World Water*, Biuletyn, 2007.
- [2] Kledyński Z., *Monitoring i diagnostyka budowli hydrotechnicznych. Cz. 1.*, „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2011, Vol. 2, s. 54–61.
- [3] Mirosław-Świątek D., Kemblowski M., Jankowski W., *Application of the Bayesian Belief Nets in dam safety monitoring*, “Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation” 2012, Vol. 44, pp. 25–33.

# ODLEWANE METALICZNE STRUKTURY PRZESTRZENNE DO ZASTOSOWAŃ W ZEOLITOWYCH AKUMULATORACH CIEPŁA

## CAST METALLIC SPATIAL STRUCTURES FOR USE IN ZEOLITE BASED THERMAL ENERGY STORAGE

*Jakub Grzęda, Anna Dmitruk, Krzysztof Naplocha*  
*Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Elementów Lekkich, Odlewnictwa i Automatyki*

Jednym z podstawowych problemów związanych z zagadnieniami akumulacji ciepła jest niska przewodność cieplna w złożach akumulacyjnych. Zależnie od metody magazynowania energii (SHS – ang. *sensible heat storage*, LHS – ang. *latent heat storage* lub TCHS – ang. *thermochemical heat storage*) stosuje się rozmaite koncepcje mające na celu poprawę przewodności cieplnej złoża. Do najczęściej spotykanych zalicza się stosowanie elementów wykonanych z materiałów o wysokiej przewodności cieplnej umieszczonych wewnątrz złoża akumulacyjnego mających poprawić wypadkową przewodność cieplną układu, a w konsekwencji poprawić dynamikę procesu wymiany ciepła w złożu. W przypadku akumulatorów sorpcyjnych, w których medium akumulacyjnym mogą być zeolity, przewodność cieplna jest relatywnie niska ( $0,16\text{--}0,21\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$ ) [1]. Jednym z konceptów poprawy tego parametru jest zastosowanie porowatych kompozytów metaliczno-zeolitowych, wytrznaczonych metodami odlewniczymi [2].

Zastosowanie technik odlewania precyzyjnego umożliwiło opracowanie struktur przestrzennych wykonanych ze stopów aluminium mających za zadanie poprawę warunków wymiany ciepła oraz poprawę warunków transportu powietrza w procesach adsorpcji i desorpcji w zeolitowym złożu akumulacyjnym. Opracowane struktury przestrzenne oraz wyniki badań nad wpływem tych struktur na warunki procesów zachodzących w akumulatorze będą przedmiotem wystąpienia.

### Literatura

- [1] Dawoud B., Imroz Sohel M., Freni A., Vasta S., Restuccia G., *On the effective thermal conductivity of wetted zeolite under the working conditions of an adsorption chiller*, “Applied Thermal Engineering” 2011, Vol. 31, No. 14-15, pp. 2241–2246.
- [2] Hu P., Yao J.-J., Chen Z.-S., *Analysis for composite zeolite/foam aluminum–water mass recovery adsorption refrigeration system driven by engine exhaust heat*, “Energy Conversion and Management” 2009, Vol. 50, No. 2, pp. 255–261.

# NUMERYCZNE MODELOWANIE WPŁYWU KONSTRUKCJI ZMIENNOFAZOWEGO AKUMULATORA CIEPŁA NA JEGO PARAMETRY PRACY

## STUDY OF THE IMPACT OF PHASE-CHANGE HEAT STORAGE UNIT DESIGN ON ITS OPERATION PARAMETERS USING NUMERICAL MODELING

*Beata Pytlik, Daniel Smykowski, Piotr Szulc*

*Politechnika Wroclawska, Katedra Mechaniki, Maszyn, Urządzeń i Procesów Energetycznych*

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat, a szczególnie w ostatnim czasie zapotrzebowanie na różne formy energii znacznie wzrosło. Dzieje się tak pomimo stosowania coraz bardziej energooszczędnych urządzeń. Wciąż rosnący popyt stanowi znaczący problem. Tym bardziej, że odchodzi się od wytwarzania energii elektrycznej i ciepła z węgla. Odpowiedzią na zapotrzebowanie jest wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, w tym słońca i wiatru. Bardzo często wykorzystuje się też odzysk energii odpadowej z różnych procesów. Rozwiązania te umożliwiają wykorzystanie pozyskanej energii od razu lub w późniejszym, bardziej dogodnym czasie. Stąd też, bardzo interesującym problemem ze względów poznawczych i użytkowych stał się proces magazynowania energii. Prace związane z pozyskiwaniem i akumulacją energii podejmowane są przez ośrodki badawcze na całym świecie. Dotyczą one zarówno poszukiwania ciekawych rozwiązań do zastosowania zarówno w przemyśle, jak i na potrzeby gospodarstw domowych. Aktualnie najpowszechniej stosowanymi technologiami magazynowania energii jest magazynowanie energii elektrycznej oraz ciepła.

Kluczowymi elementami technologii magazynowania są akumulatory. Umożliwiają one gromadzenie i przechowywanie energii przez określony czas, co wpływa na wzrost elastyczności pracy systemów energetycznych z którymi są zintegrowane. Do magazynowania energii wykorzystuje się różne technologie, a w konsekwencji, materiały. Do magazynowania ciepła wykorzystuje się głównie wodę, ale również materiały zmiennofazowe takie jak parafiny, czy wieloskładnikowe mieszanki soli nieorganicznych. Dobór materiału magazynującego wynika z parametrów procesu, do którego akumulator jest projektowany. Obecny przemysł jest na tyle zróżnicowany, że akumulatory projektuje się do konkretnego zastosowania. Zaprojektowanie akumulatora o optymalnej konstrukcji wymaga dobrej znajomości zjawisk i procesów zachodzących w trakcie jego pracy. Część z tych zjawisk można badać doświadczalnie, jednak tego typu badania są związane z wysokimi kosztami. Aby obniżyć ich koszty oraz skrócić czas w procesie projektowania wykorzystuje się modelowanie numeryczne.

W tym artykule przedstawiono i omówiono wyniki badań numerycznego modelowania wpływu konstrukcji akumulatora ciepła na jego parametry pracy. Badania polegały na opracowaniu numerycznego modelu akumulatora ciepła, wypełnionego materiałem zmiennofazowym. Model numeryczny opracowano w programie Comsol Multiphysics. Geometria zbudowanego modelu akumulatora odwzorowuje geometrię rzeczywistego akumulatora ciepła znajdującego się w laboratorium badawczym Katedry Mechaniki, Maszyn, Urządzeń i Procesów Energetycznych Politechniki Wrocławskiej. W celu zweryfikowania wyników otrzymanych na podstawie obliczeń numerycznych, przeprowadzono badania laboratoryjne na modelu fizycznym. W trakcie badań rejestrowano temperaturę na wlocie i wylocie z akumulatora oraz w sześciu innych (wskazanych w pracy) punktach wewnątrz akumulatora. Badano proces ładowania i rozładowywania akumulatora wypełnionego następującymi materiałami: parafina o składzie A53 50% i RT82 50% oraz sole o składzie:  $\text{NaNO}_2$  60%,  $\text{KNO}_3$  40% oraz  $\text{NaNO}_2$  55% i  $\text{KNO}_3$  45%. Akumulator był cyklicznie ładowany a następnie rozładowywany strumieniem odpowiednio, gorącego oraz zimnego powietrza z nagrzewnicy.

Przeprowadzono porównanie otrzymanych wyników badań. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono dobrą zgodność wyników otrzymanych z modelu numerycznego z wynikami otrzymanymi z modelu fizycznego akumulatora ciepła. Wykonano walidację modelu w odniesieniu do wszystkich badanych

materiałów. Na tej podstawie stwierdzono, że opracowany model numeryczny akumulatora w dobrym stopniu odwzorowuje zjawiska i procesy wymiany ciepła pomiędzy czynnikiem ładującym/rozładowującym a materiałem zmiennofazowym.

W dalszej części pracy przeprowadzono analizę rozkładu temperatury w objętości akumulatora dla każdego z zastosowanych materiałów. Zaobserwowano, że całkowita przemiana fazowa materiału akumulującego zależy nie tylko od konstrukcji ale też, parametrów zasilania akumulatora. W celu optymalizacji parametrów pracy akumulatora i wskazania najkorzystniejszego wariantu, przeprowadzono szereg symulacji przy różnych wartościach strumienia oraz temperatury powietrza. Na ich podstawie wyznaczano czas ładowania i rozładowania akumulatora, czas przemiany fazowej w akumulatorze, temperaturę powietrza na wylocie z akumulatora, a także strumień ciepła przekazywany pomiędzy rurą ożebrowaną a materiałem PCM.

Podjęto też próbę zwiększenia wartości strumienia ciepła, bez zmiany konstrukcji akumulatora, a co za tym idzie bez zmiany powierzchni wymiany ciepła. Przeprowadzono symulację, w której dla akumulatora z tymi samymi materiałami PCM zmieniano wartość temperatury i prędkości strumienia powietrza na wlocie. Analiza wyników symulacji wykazała jednak, że zmiany tych parametrów nie wpływają na wartość strumienia ciepła. Zatem jeśli nie wprowadzamy zmiany powierzchni wymiany ciepła, a tym samym konstrukcji akumulatora, to czynnikiem wpływającym na przekazywany strumień ciepła jest przewodnictwo cieplne materiału PCM.

Przeprowadzone badania pozwoliły na wskazanie głównego czynnika decydującego o strumieniu ciepła, który można przekazać do akumulatora w trakcie ładowania lub odbierać w trakcie rozładowywania. Czynnikiem tym jest powierzchnia wymiany ciepła, zatem zaprojektowanie akumulatora ciepła o konkretnej mocy ładowania/rozładowywania wymaga właściwego doboru konstrukcji elementów odpowiadających za przekazywanie ciepła pomiędzy czynnikiem roboczym a materiałem akumulującym.

# WPLÝW METOD OBLICZENIOWYCH SPIRALNEGO KANAŁU ZBIORCZEGO NA PARAMETRY PRACY POMP

## INFLUENCE OF THE THEORETICAL METHODS OF VOLUTE CASINGS CONSTRUCTION ON PUMP OPERATION PROCESSES

Anna Chernobrova<sup>1</sup>, Oleksandr Moloshnyi<sup>1</sup>, Przemysław Szulc<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sumski Państwowy Uniwersytet, Katedra Hydroeromechaniki Stosowanej

<sup>2</sup>Politechnika Wroclawska, Katedra Mechaniki, Maszyn, Urządzeń i Procesów Energetycznych

Odprowadzenie cieczy z wirnika pompy krętej oraz transformacja energii kinetycznej w ciśnienie statyczne przeprowadzana jest za pomocą różnych konstrukcji kanałów zbiorczych, wśród których z energetycznego punktu widzenia, najkorzystniejszy jest kanał spiralny. Rozwiązanie to jest równie często stosowane w pompach z pojedynczym, jak i podwójnym wlotem, nazywanych pompami dwustrumieniowymi. W odniesieniu do założeń struktury przepływu, określonej rozkładem prędkości, istnieją dwie metody projektowania kanałów spiralnych. Pierwsza metoda została zdefiniowana przez K. Pfleiderera polega na zachowaniu niezmienności krętu, natomiast druga, stworzona przez A. Stepanoffa – stałej prędkości średniej. Oprócz wymienionych metod istnieją również zalecenia konstrukcyjne, bazujące na wynikach badań empirycznych, a dotyczące relacji pomiędzy wymiarami charakterystycznymi spirali (szerokość i średnica wlotu, położenia języka) a średnicą wirnika. Dotychczasowe podejście projektowe umożliwia konstruktorowi pełną elastyczność w zakresie doboru metody oraz parametrów geometrycznych spirali, co jest rezultatem braku bezpośrednich wytycznych dotyczących zasad ich stosowalności.

W celu identyfikacji jakościowej i ilościowej pracy pompy modelowej ( $n_q = 23$ ), przeprowadzono symulacje numeryczne przepływu przy zastosowaniu spiralnych kanałów zbiorczych zaprojektowanych zgodnie z zaleceniami: A. Stepanoffa, C. Pfleiderera i A. Łomakina [1–3]. Otrzymane rezultaty zestawiono z rozwiązaniem referencyjnym, którym była geometria spirali produkowanej seryjnie. Główne zalecenie konstrukcyjne dla każdej z metod projektowania spiral, przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Główne formuły wykorzystane do projektowania spiralnych kanałów zbiorczych

	Stepanoff	Pfleiderer	Łomakin	Model referencyjny
Średnica wlotu do spirali	$D_3 = (\rho + 1) \cdot D_2$	$D_3 = 1,033 \cdot D_2$	$D_3 = (1,033 \dots 1,05) \cdot D_2$	–
Szerokość wlotu do spirali	$b_3 = 2 \cdot b_2$	$b_3 = b_2 + 1 \dots 2$	$b_3 = b_2 + 0,05 \cdot D_2$	$b_3 = 2 \cdot b_2$
Prędkość	$c_3 = K_3 \sqrt{2gH}$	$c_u \cdot r = K$	$c_u \cdot r = K$	$c_u \cdot r = K$
Metoda projektowania	stałej prędkości	zachowania niezmienności krętu	zachowania niezmienności krętu	zachowania niezmienności krętu

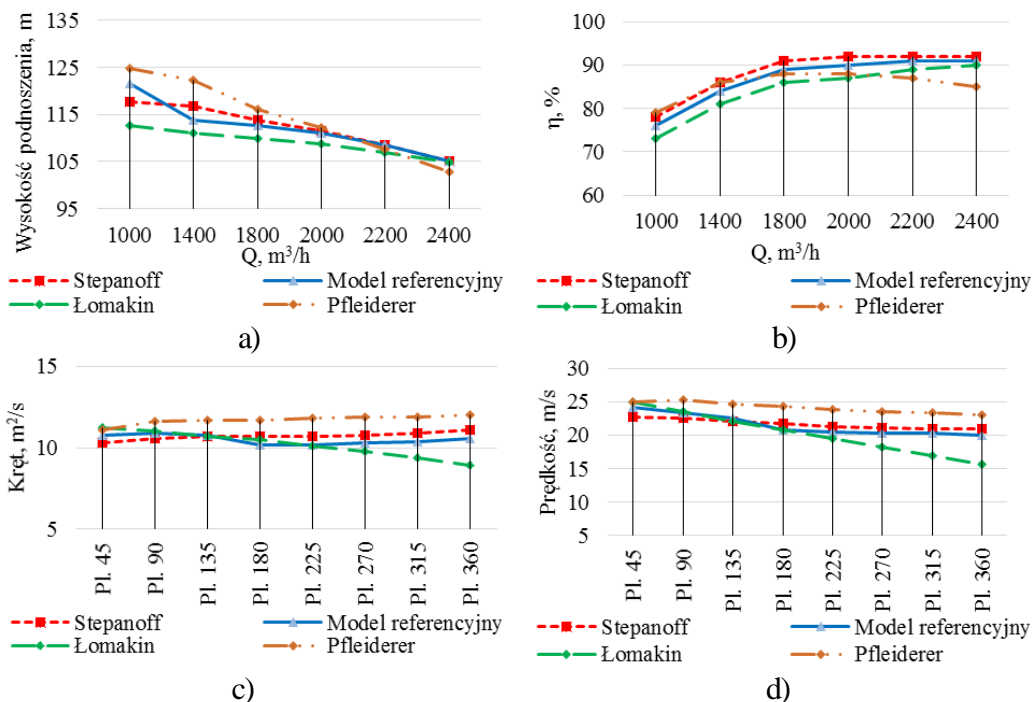
$D_2$  – średnica wirnika,  $D_3$  – średnica wlotowa do spirali,  $c_3$  – średnia prędkość w spirali,  $K_3$  – współczynnik prędkości średniej w spirali,  $b_2$  – szerokość wirnika na wylocie,  $b_3$  – szerokość wlotowa do spirali,  $c_u$  – składowa obwodowej prędkości bezwzględnej w odległości  $r$  od osi obrotu wirnika,  $K$  – kręt cieczy,  $\rho$  – współczynnik określający średnicę  $D_3$ , zaproponowany, uzyskany eksperymentalnie przez Stepanoffa [1].

W zaprojektowanych geometriach stworzono niestrukturalną siatkę obliczeniową objętości wody przepływającej przez pompę, składającą się z elementów tetrahedralnych oraz warstw pryzmatycznych w pobliżu ścian modelu. Zastosowano metodę uśrednienia Reynoldsa Naviera–Stokesa ze standardowym modelem turbulencji  $k-\epsilon$ , zaimplementowaną w komercyjnym kodzie obliczeniowym.



Na podstawie przeprowadzonych symulacji należy wnioskować, że zgodnie z rys. 1a, wysokość podnoszenia dla  $Q_{nom}$  (2000 m<sup>3</sup>/h) jest zbliżona dla wszystkich badanych wariantów, z wyjątkiem konstrukcji stworzonej na podstawie metody A. Łomakina, charakteryzująca się najniższymi wartościami wysokości podnoszenia. Na rysunku 1b przedstawiono zależność sprawności od wydajności pompy. Jednostka ze spiralą skonstruowaną zgodnie z metodą A. Stepanoffa ma najwyższą sprawność w całym zakresie wydajności.

Zmiana wartości prędkości w spirali zawiera się w zakresie 8% (rys. 1c). Kanał spiralny, zaprojektowany zgodnie z metodą stałego krętu, według wytycznych C. Pfeleiderera, ma zakres zmiany tegoż krętu wynoszący 4% (rys. 1d). Niezmiennosć krętu nie została również zachowana dla spirali, której kształt został określony na podstawie metody A. Łomakina. Ponadto odnotowano tu najniższą sprawność. W związku z tym przy projektowaniu nowych spirali, dla rozpatrywanej pompy, nie zaleca się używania tej metody w przypadku doboru wartości średnicy  $D_3$  oraz szerokości  $b_3$ .



Rys. 1. Charakterystyki przepływu  $H=f(Q)$  (a) i sprawności  $\eta=f(Q)$  (b) oraz wykresy prędkości średniej (c) i krętu cieczy (d) dla strumienia wydajności  $Q_{nom}$

Podsumowując przeprowadzone symulacje numeryczne, zaleca się projektowanie kanałów spiralnych metodą stałej prędkości średniej, ponieważ w jej przypadku uzyskano największe wartości sprawności oraz relatywnie płaskie charakterystyki przepływu.

Jeżeli pożądanym jest uzyskanie stromej charakterystyki wysokości podnoszenia zaleca się projektowanie spirali metodą stałego krętu. Wadą takiego podejścia jest niższa sprawność (4%) i większe straty hydrauliczne niż w spirali zaprojektowanej metodą A. Stepanoffa.

### Podziękowanie

Praca ta była wspierana przez Fundusz Wyszehradzki (grant nr 52010774).

### Literatura

- [1] Stepanoff A. L., *Centrifugal and Axial Flow Pumps*, Krieger Publishing Company, pp. 462, Malabar 1957.
- [2] Pfeleiderer C., Petermann H., *Strömungsmaschinen*, 7th Edition, Springer, pp. 582, New York 2004.
- [3] Lomakin A., *Centrobeżnye i osewe nasosy*, Mašinostroenye, pp. 364, Leningrad 1965.





