

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Sławomir Wiśniewski

**Energetyczna ocena efektywności pracy wieloobiegowych
elektrowni ORC zasilanych nisko i średniotemperaturowymi
nośnikami energii**

Szczecin 2019

Recenzenci

JAN ŁACH

DARIUSZ BUTRYMOWICZ

Opracowanie redakcyjne

Iwona Hilicka

Projekt okładki

Sławomir Wiśniewski

WYDANO ZA ZGODĄ

Rektora Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie

ISBN 978-83-7663-288-9

© Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
al. Piastów 48, 70-311 Szczecin, tel. 91 449 47 60, e-mail: wydawnictwo@zut.edu.pl

Przedmowa

Niniejsza monografia powstała dzięki wiedzy i doświadczeniu zdobytemu w trakcie studiów i pracy w Katedrze Techniki Ciepłej na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatronik Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. W tym miejscu pragnę złożyć podziękowanie wszystkim Profesorom i Nauczycielom akademickim, którzy brali udział w procesie mojego kształcenia oraz przyczynili się do mojego rozwoju naukowego i osobistego.

W szczególności pragnę podziękować prof. dr. hab. inż. Władysławowi Nowakowi, promotorowi mojej pracy doktorskiej i Osobie, która w największym stopniu przyczyniła się do moich osiągnięć naukowych.

Dziękuję również prof. dr. hab. inż. Aleksandrowi A. Stachelowi, który również miał duży wpływ na mój rozwój naukowy oraz stworzył w Katedrze Techniki Ciepłej odpowiednie warunki do realizacji badań naukowych, które przyczyniły się do powstania niniejszej monografii.

Dr. hab. inż. Aleksandrze Borsukiewicz dziękuję za wieloletnią i owocną współpracę w badaniach nad układami ORC oraz za chęć dzielenia się swoim doświadczeniem związanym z tą tematyką.

Składam również serdeczne podziękowanie Recenzentom wydawniczym, tj. prof. dr. hab. inż. Janowi Łachowi oraz prof. dr. hab. inż. Dariuszowi Butrymowiczowi za podjęcie się trudu zrecenzowania niniejszej monografii oraz za bardzo cenne i merytoryczne uwagi, które przyczyniły się do zwiększenia jej walorów naukowych.

Na koniec składam ogromne podziękowania mojej najbliższej rodzinie, czyli Żonie i dwóm Córkom. To im w szczególności dedykuję tę pracę dziękując jednocześnie za wyrozumiałość i cierpliwość, którymi zostałem przez nie obdarowany w trakcie pisania tej monografii.

Sławomir Wiśniewski

Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń.....	6
1. Wprowadzenie	7
2. Podstawy teoretyczne obieguw ORC.....	15
2.1. Obieg Clausiusa-Rankine'a dla klasycznej siłowni parowej z wodą jako czynnikiem obiegowym.....	15
2.2. Obiegi ORC.....	18
2.3. Czynniki robocze stosowane w obiegach ORC	20
3. Stan wiedzy o układach ORC	34
3.1. Układy ORC – przegląd wybranych wyników badań różnych konfiguracji układu	34
3.2. Układy ORC – przegląd wybranych wyników badań z podziałem na różne źródła ciepła.....	38
3.2.1. Energia odpadowa.....	38
3.2.2. Energia odnawialna.....	40
3.3. Moc wytwórcza w zainstalowanych jednostkach ORC	42
4. Doświadczenia Katedry Techniki Ciepłej ZUT w Szczecinie związane z badaniami układów ORC.....	45
5. Siłownie ORC z wieloźródłowym zasilaniem	50
5.1. Elektrownia binarna sprzężona cieplnie z dodatkowym obiegiem ORC	50
5.1.1. Opis układu	50
5.1.2. Algorytm obliczeń	53
5.2. Siłownia ORC zasilana z wielu źródeł ciepła z jedną wspólną turbiną i jednym wspólnym skraplaczem dla wszystkich obieguw	58
5.2.1. Opis układu siłowni ORC zasilanej z wielu źródeł	59
5.2.2. Opis i sposób działania siłowni.....	60
5.2.3. Metodyka i wyniki obliczeń.....	61
5.3. Analiza pracy binarnej siłowni ORC z nadkrytycznym obiegiem górnym oraz podkrytycznym obiegiem dolnym.....	67

5.3.1. Schemat i opis układu siłowni binarnej z nadkrytycznym obiegiem górnym i podkrytycznym obiegiem dolnym	67
5.3.2. Metodyka obliczeń.....	69
5.3.3. Wyniki obliczeń.....	72
5.4. Siłownia ORC z dwuźródłowym zasilaniem, układ z dodatkowym przegrzewaczem i turbiną na parę przegrzaną.....	80
5.4.1. Schemat układu.....	80
5.4.2. Sposób zasilania układu ORC.....	83
5.4.3. Sposób realizacji przemian termodynamicznych w obiegach układu ORC	84
5.4.4. Metodyka obliczeń.....	85
5.4.5. Analiza parametryczna siłowni ORC z dwuźródłowym zasilaniem.....	93
6. Podsumowanie	120
Literatura.....	122
Streszczenie	135
Summary.....	139
Spis rysunków.....	143
Spis tabel.....	147