

Spis treści

Wykaz oznaczeń	5
1. Wstęp	11
2. Podstawy opisu termodynamicznego. Zasada i podstawy działania klasycznych siłowni parowych i siłowni wykorzystujących niskowrzące czynniki robocze (układów Kaliny i ORC)	17
2.1. Obieg siłowni parowej – obieg Clausiusa–Rankine’a (C–R)	17
2.2. Układy i obiegi termodynamiczne zmodyfikowanych siłowni C–R	20
2.2.1. Obieg parowej siłowni nadkrytycznej	20
2.2.2. Obieg siłowni parowej z kotłem odzysknicowym	21
2.2.3. Obieg siłowni parowej dwuczynnikowej	21
2.2.4. Wybrane sposoby poprawy efektywności siłowni parowych	23
2.2.5. Parowe układy ciepłownicze i technologiczne	24
2.2.6. Parowe układy multigeneracyjne	26
2.3. Układy i obiegi termodynamiczne siłowni C–R z niskowrzącymi czynnikami roboczymi	28
2.3.1. Układy ORC (Organic Rankine Cycle)	28
2.3.2. Układy Kaliny	40
3. Opis i charakterystyka źródeł ciepła wykorzystywanych do zasilania układów ORC małej i średniej mocy wykorzystujących rozprężarki wyporowe	43
3.1. Ciepło ze spalania występujących lokalnie pierwotnych nośników energii i ze spalania biomasy	44
3.2. Ciepło pochodzące ze źródeł odnawialnych	46
3.2.1. Ciepło geotermiczne	46
3.2.2. Ciepło promieniowania słonecznego	52
3.2.3. Ciepło wód oceanicznych – układy OETC (Ocean Thermal Energy Conversion)	59
3.3. Ciepło odpadowe	60
3.4. Akumulatory ciepła skojarzone z układami ORC	64
4. Charakterystyka ogólna czynników roboczych możliwych do wykorzystania w układach ORC małej i średniej mocy wykorzystujących rozprężarki wyporowe i zasilanych z niskotemperaturowych źródeł ciepła	73
4.1. Podział czynników roboczych	73
5. Kryteria doboru czynnika roboczego do układu ORC	77
5.1. Kryteria ekologiczne, kryteria bezpieczeństwa i uwarunkowania prawne	77
5.2. Kryteria termodynamiczne i techniczne	78
5.3. Zestawienie czynników roboczych możliwych do zastosowania w układach ORC pracujących z niskotemperaturowymi źródłami ciepła i rozprężarkami objętościowymi	82
6. Rozprężarki stosowane w układach ORC małej i mikro mocy	89
6.1. Turbiny małej i mikro mocy	91
6.2. Rozprężarki objętościowe	96
6.2.1. Rozprężarki tłokowe i linear piston	98

6.2.2. Rozprężarki spiralne	106
6.2.3. Rozprężarki śrubowe	110
6.2.4. Rozprężarki wielopatkové	118
6.2.5. Rozprężarki z wirującym tłokiem (jednopatkowe)	127
6.2.6. Rozprężarki krzywkové	131
6.2.7. Rozprężarki Wankla	134
6.2.8. Rozprężarki śrubowe jednowirnikowe	139
6.2.9. Rozprężarki z ząbieniem wewnętrznym (typu gerotor)	142
7. Dobór i charakterystyka porównawcza czynników roboczych możliwych do zastosowania w układach ORC małej i średniej mocy wykorzystujących rozprężarki wyporowe i zasilanych z niskotemperaturowych źródeł ciepła	145
7.1. Wprowadzenie – dobór czynnika roboczego a typ zastosowanej rozprężarki wyporowej	145
7.2. Wpływ charakterystyki i parametrów termodynamicznych źródła ciepła na dobór czynnika roboczego	148
7.3. Wpływ właściwości termodynamicznych czynnika roboczego na procesy zachodzące w układzie ORC i definicja parametrów oceny umożliwiających prowadzenie analiz porównawczych czynników roboczych	154
7.3.1. Ocena wpływu pojemności cieplnej czynnika roboczego	155
7.3.2. Ocena wpływu średniej temperatury parowania czynnika roboczego	156
7.3.3. Ocena wpływu średniej temperatury skraplania czynnika roboczego	158
7.3.4. Ocena wpływu stopnia rozprężania i stopnia ekspansji	160
7.3.5. Ocena wpływu rozszerzalności objętościowej czynnika roboczego podczas odparowania w parowacu	161
7.4. Analiza porównawcza czynników roboczych	162
7.4.1. Ocena wpływu histogramu i charakterystyki źródła ciepła na stopień rozprężania oraz uzyskiwaną pracę rozprężania izentropowego	162
7.4.2. Analiza porównawcza czynników roboczych przy zastosowaniu parametrów oceny	166
7.4.3. Podsumowanie	180
8. Uwagi końcowe	183
Literatura	187