

# Spis treści

Streszczenie .....	9
Summary .....	10
<b>1. Wstęp .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Źródła ciepła niskotemperaturowego .....</b>	<b>18</b>
2.1. Rodzaje źródeł ciepła niskotemperaturowego .....	19
2.2. Ciepło z górotworu .....	22
2.3. Ciepło z wód podziemnych .....	24
2.4. Ciepło z wód powierzchniowych .....	25
2.5. Powietrze atmosferyczne i wentylacyjne .....	26
2.6. Instalacje centralnego ogrzewania i ciepło powrotne w systemach grzewczych ...	26
2.7. System lodowisko-pływalnia .....	26
2.8. Ciepło z odpadów .....	27
2.9. Ciepło z instalacji infrastrukturalnych .....	27
2.10. Pompy ciepła .....	32
<b>3. Akumulatory energii i podziemne magazyny ciepła PMC .....</b>	<b>39</b>
3.1. Podział akumulatorów energii cieplnej .....	41
3.2. Akumulatory ciepła jawnego .....	42
3.2.1. Akumulatory cieczowe .....	42
3.2.2. Akumulatory ciała stałego .....	43
3.3. Zasobniki ciepła utajonego .....	44
3.4. Podziemne magazynowanie ciepła .....	45
3.5. Magazyny ciepła i chłodu z wymiennikami otworowymi w górotworze .....	48
<b>4. Badania regeneracji zasobów ciepła w PMC za pomocą kolektorów słonecznych .....</b>	<b>50</b>
4.1. Badania kolektorów w warunkach słonecznych .....	52
4.2. Badania kolektorów w dzień pochmurny z przejaśnieniami .....	58

4.3. Badania kolektorów w nocy .....	62
4.4. Odbiorniki ciepła i chłodu .....	64
<b>5. Otworowe wymienniki ciepła .....</b>	<b>70</b>
5.1. Możliwości wykonywania wymienników otworowych .....	71
5.2. Parametry otworowych wymienników ciepła .....	73
5.2.1. Geologiczne warunki pracy wymienników otworowych .....	75
5.2.2. Konstrukcje otworowych wymienników ciepła .....	77
5.2.3. Parametry eksploatacyjne otworowych wymienników ciepła .....	82
5.3. Głębokie otworowe wymienniki ciepła w wybranych krajach .....	82
<b>6. Matematyczne modele otworowych wymienników ciepła .....</b>	<b>90</b>
6.1. Model źródła liniowego Ingersolla i Plassa .....	90
6.2. Model źródła cylindrycznego Kavanaugh .....	92
6.3. Model liniowego źródła Harta i Couvilliona .....	92
6.4. Model Eskilsona .....	93
6.5. Analityczny model centrycznego wymiennika otworowego z punktem zwrotnym .....	95
6.6. Numeryczny model cylindryczny .....	100
6.7. Matematyczny model centrycznego wymiennika otworowego w układzie kartezjańskim .....	103
6.8. Modelowanie w środowisku SHEMAT .....	109
6.9. Modelowanie w środowisku TOUGH2.0 .....	110
6.10. Modelowanie w środowisku ANSYS CFX .....	111
6.11. Numeryczny model 3D podziemnego magazynu ciepła z wymiennikami otworowymi .....	113
<b>7. Wydajność grzewcza otworowych wymienników ciepła .....</b>	<b>116</b>
7.1. Strumień wymienianej energii .....	116
7.2. Przewodność cieplna skał .....	119
7.3. Temperatura górotworu .....	130
7.4. Test reakcji termicznej (TRT) .....	134
7.5. Nowy sposób wyznaczania parametrów z TRT .....	146
7.6. Test przewodności cieplnej .....	152
<b>8. Badania podziemnych magazynów ciepła – metodyka, wyniki i interpretacja ...</b>	<b>159</b>
8.1. Wyniki TRT otworowych wymienników ciepła Laboratorium Geoenergetyki .....	172
8.2. Wyniki TRT otworowych wymienników ciepła w Polsce .....	189

8.3. Profilowanie temperatury w otworowych wymiennikach ciepła .....	190
8.4. Wpływ uszczelnienia na przewodność otworowych wymienników ciepła ....	192
8.5. Badania systemu odsnieżania parkingu .....	195
<b>9. Analizy PMC pod kątem różnych parametrów .....</b>	<b>198</b>
9.1. Podstawowe założenia do modelowania pracy PMC .....	198
9.2. Prognozy eksploatacji w warunkach zwiększonego poboru ciepła z górotworu .....	202
9.3. Prognozy eksploatacji w warunkach zwiększonego wprowadzania ciepła do górotworu .....	212
9.4. Prognozy eksploatacji w warunkach zrównoważenia energetycznego .....	216
9.5. Odległości pomiędzy otworami .....	217
9.6. Efektywność pomp ciepła .....	221
9.7. Liczba wymienników otworowych .....	226
9.8. Wychłodzenie górotworu .....	230
<b>10. Numeryczne modelowanie eksploatacji PMC .....</b>	<b>232</b>
10.1. Analiza wpływu długości kroku czasowego i przestrzennego na wyniki obliczeń .....	233
10.1.1. Analiza kroku czasowego .....	233
10.1.2. Konstrukcja siatki obliczeniowej .....	234
10.1.3. Testowanie wymiarów siatki .....	235
10.2. Profile obciążenia PMC .....	239
10.3. Wyniki modelowania matematycznego .....	242
10.3.1. Ciągłe stałe obciążenie jednokierunkowe .....	243
10.3.2. Obciążenie niezbilansowane energetycznie, zmiennie co do wartości i kierunku przepływu ciepła .....	254
10.3.3. Obciążenie zbilansowane energetycznie, zmiennie co do wartości i kierunku przepływu ciepła .....	256
10.3.4. Obciążenie niezbilansowane energetycznie, stałe co do kierunku i zmiennie co do ilości przepływającego ciepła .....	259
<b>11. Wnioski .....</b>	<b>261</b>
Literatura.....	265