

---

# Spis treści

---

<b>1. Magazynowanie energii podstawą rozwoju energetyki odnawialnej</b>	
– <i>Dorota Chwieduk</i> .....	13
1.1. Rola magazynowania energii .....	13
1.2. Oddziaływanie promieniowania słonecznego na Ziemię .....	15
1.3. Magazynowanie ciepła w systemach energetyki odnawialnej .....	16
1.4. Magazynowanie energii elektrycznej .....	20
Literatura .....	22
<b>2. Podstawowe metody magazynowania ciepła</b>	
– <i>Maciej Jaworski</i> .....	24
2.1. Wprowadzenie .....	24
2.2. Klasyfikacja technologii magazynowania ciepła .....	25
2.3. Akumulacja ciepła z wykorzystaniem ciepła właściwego czynników roboczych .....	27
2.3.1. Krótkoterminowa akumulacja ciepła z wykorzystaniem ciepła właściwego ...	27
2.3.2. Długoterminowa sezonowa akumulacja ciepła z wykorzystaniem ciepła właściwego .....	30
2.4. Akumulacja ciepła z wykorzystaniem ciepła przemian fazowych .....	34
2.5. Akumulacja ciepła z wykorzystaniem reakcji chemicznych i procesów sorpcyjnych .....	38
Literatura .....	43
<b>3. Długoterminowe magazynowanie ciepła</b>	
– <i>Dorota Chwieduk</i> .....	45
3.1. Idea długoterminowego magazynowania ciepła .....	45

3.2.	Podstawowe cechy długoterminowych magazynów ciepła .....	48
3.3.	Gruntowe magazyny ciepła .....	54
	Literatura .....	59
<b>4.</b>	<b>Magazynowanie ciepła przy wykorzystaniu materiałów zmiennofazowych (PCM)</b>	
	– <i>Maciej Jaworski</i> .....	61
4.1.	Wprowadzenie .....	61
4.2.	Materiały zmiennofazowe .....	64
4.3.	Właściwości materiałów zmiennofazowych .....	69
4.4.	Konstrukcje zasobników ciepła z materiałami PCM .....	73
4.5.	Akumulacja ciepła w materiałach PCM zintegrowanych ze strukturą budynku .....	76
	4.5.1. Materiały budowlane z PCM .....	77
	4.5.2. Podłogi ogrzewane materiałami PCM .....	81
	4.5.3. Inne zastosowania materiałów zmiennofazowych w budownictwie .....	82
	Literatura .....	83
<b>5.</b>	<b>Magazynowanie chłodu</b>	
	– <i>Andrzej Grzebielec, Adam Szelański</i> .....	86
5.1.	Wprowadzenie .....	86
5.2.	Ogólna idea magazynowania chłodu .....	88
5.3.	Magazynowanie chłodu w instalacjach wodnych bez przemiany fazowej .....	90
5.4.	Magazynowanie chłodu z wykorzystaniem przemiany fazowej czynnika roboczego .....	92
	5.4.1. Magazynowanie lodu w zbiorniku .....	92
	5.4.2. Układy lodu binarnego .....	94
	5.4.3. Instalacje wykorzystujące suchy lód .....	95
	5.4.4. Pozostałe materiały PCM .....	95
5.5.	Magazynowanie z wykorzystaniem układów sorpcyjnych .....	98
	Literatura .....	99
<b>6.</b>	<b>Podstawy pozyskiwania energii słonecznej</b>	
	– <i>Dorota Chwieduk</i> .....	101
6.1.	Widmo promieniowania słonecznego .....	101
6.2.	Dostępność energii promieniowania słonecznego .....	102
6.3.	Podstawowe modele promieniowania słonecznego padającego na dowolnie usytuowaną powierzchnię .....	106
	Literatura .....	112

---

<b>7. Bilans ciepły budynku. Pasywne systemy słoneczne</b>	
– <i>Dorota Chwieduk</i> .....	113
7.1. Bilans ciepły powietrza w budynku .....	113
7.2. Przepływ ciepła przez ściany zewnętrzne i magazynowanie ciepła w budynku .....	116
7.3. Rola pojemności cieplnej przegród w kształtowaniu stanów termicznych budynku .....	120
7.4. Słoneczne systemy pasywne .....	122
7.4.1. Klasyfikacja systemów pasywnych .....	122
7.4.2. Magazynowanie energii w słonecznych systemach pasywnych .....	125
Literatura .....	132
<b>8. Słoneczne aktywne systemy grzewcze</b>	
– <i>Dorota Chwieduk</i> .....	134
8.1. Zasada funkcjonowania. Podstawowa klasyfikacja .....	134
8.2. Podstawowe elementy aktywnych systemów słonecznych .....	143
Literatura .....	147
<b>9. Magazynowanie ciepła w słonecznych instalacjach grzewczych</b>	
– <i>Jarosław Bigorajski, Michał Chwieduk</i> .....	148
9.1. Magazynowanie krótkoterminowe .....	148
9.1.1. Magazynowanie z wykorzystaniem ciepła właściwego medium magazynującego .....	150
9.1.2. Magazynowanie ciepła z wykorzystaniem ciepła przemiany fazowej .....	154
9.1.3. Magazynowanie z wykorzystaniem ciepła odwracalnych reakcji chemicznych .....	155
9.2. Praktyczna realizacja magazynów krótkoterminowych i ocena ich efektywności .....	156
Literatura .....	160
<b>10. Systemy fotowoltaiczne</b>	
– <i>Bartosz Chwieduk</i> .....	162
10.1. Podział systemów ze względu na ich moc .....	162
10.2. Systemy autonomiczne i podłączone do sieci .....	163
10.3. Moduły fotowoltaiczne .....	167
10.4. Akumulatory fotowoltaiczne .....	170
10.5. Inwertery fotowoltaiczne .....	173
10.6. Wymiarowanie instalacji .....	177
Literatura .....	181

**11. Systemy PV/T fotowoltaiczno-ciepłne**

– Jarosław Bigorajski .....	183
11.1. Wprowadzenie .....	183
11.2. Podstawy teoretyczne działania modułów PV/T fotowoltaiczno-ciepłych .....	186
11.3. Rodzaje modułów PV/T .....	191
11.4. Magazynewanie energii .....	193
11.5. Zastosowania modułów PV/T .....	195
Literatura .....	198

**12. Słoneczne chłodzenie**

– Adam Szelaęowski .....	200
12.1. Wprowadzenie .....	200
12.2. Technologie stosowane w chłodzeniu słonecznym .....	202
12.3. Elementy systemów chłodzenia słonecznego .....	203
12.4. Układ chłodniczy i jego systemy napędowe .....	205
12.4.1. Napędy energią elektryczną z instalacji fotowoltaicznych .....	205
12.4.2. Systemy termomechaniczne .....	209
12.4.3. Systemy sorpcyjne .....	213
12.5. Systemy dystrybucji chłodu .....	223
12.6. Systemy odprowadzenia ciepła odpadowego .....	224
12.7. Podstawowe obliczenia/ocena systemu .....	225
12.8. Podsumowanie .....	226
Literatura .....	226

**13. Sprężarkowe pompy ciepła**

– Adam Szelaęowski .....	229
13.1. Wprowadzenie .....	229
13.2. Historia sprężarkowych pomp ciepła .....	230
13.3. Zasada działania sprężarkowych pomp ciepła .....	232
13.3.1. Obieg Carnota .....	233
13.3.2. Obieg Lindego .....	235
13.3.3. Zamknięty obieg Braytona .....	237
13.3.4. Otwarty obieg Braytona .....	238
13.3.5. Obieg rzeczywisty .....	239
13.4. Podział sprężarkowych pomp ciepła .....	240
13.5. Dolne źródła ciepła .....	241
13.5.1. Powietrze atmosferyczne .....	242
13.5.2. Grunt .....	242

---

13.5.3. Wody gruntowe .....	243
13.5.4. Ciepło odpadowe .....	243
13.6. Opłacalność stosowania pomp ciepła .....	244
13.7. Podsumowanie .....	244
Literatura .....	245
<b>14. Sorpcyjne pompy ciepła</b>	
– <i>Andrzej Grzebielec</i> .....	246
14.1. Wprowadzenie .....	246
14.2. Absorpcyjne pompy ciepła .....	248
14.3. Adsorpcyjne pompy ciepła .....	253
14.4. Magazynowanie ciepła z wykorzystaniem układów sorpcyjnych .....	258
Literatura .....	261
<b>15. Słoneczne systemy hybrydowe</b>	
– <i>Bartosz Chwieduk</i> .....	263
15.1. Wprowadzenie .....	263
15.2. Wykorzystanie instalacji fotowoltaicznej do celów grzewczych .....	264
15.3. Współpraca systemu fotowoltaicznego i pompy ciepła .....	265
15.4. Współpraca systemu fotowoltaicznego i siłowni wiatrowych .....	268
15.5. Współpraca systemu fotowoltaicznego z urządzeniami klimatyzacyjnymi .....	269
15.6. Współpraca systemu fotowoltaicznego z urządzeniami grzewczymi i klimatyzacyjnymi .....	272
Literatura .....	275
<b>16. Magazynowanie ciepła w elementach budynku i systemu ogrzewania</b>	
– <i>Hanna Jędrzejuk</i> .....	276
16.1. Wprowadzenie .....	276
16.2. Struktura systemów ogrzewania w Polsce .....	279
16.3. Sposoby akumulacji ciepła w systemach ogrzewania .....	281
16.3.1. Wybór sposobu akumulacji ciepła w systemach ogrzewania .....	281
16.3.2. Właściwości fizyczne wybranych substancji, materiałów, wyrobów i komponentów budowlanych .....	283
16.3.3. Podstawowe sposoby działania instalacji grzewczych z wydzielonymi zasobnikami ciepła .....	283
16.3.4. System ogrzewania jako zasobnik ciepła .....	287
16.3.5. Konstrukcja budynku jako zasobnik ciepła .....	290

16.3.6. Uproszczona analiza możliwości akumulacji ciepła w systemie ogrzewania budynku .....	296
Literatura .....	303
<b>17. Niekonwencjonalne zintegrowane systemy HVAC</b>	
– <i>Stefan Żuchowski</i> .....	305
17.1. Definicja HVAC .....	305
17.2. Rozwiązania HVAC – stan obecny .....	305
17.3. Systemy zintegrowane .....	309
17.4. Niekonwencjonalne zintegrowane systemy HVAC (OWK) .....	313
17.4.1. System HVAC (OWK) w hotelu z odzyskiem ciepła z agregatu wody lodowej. Magazynowanie energii we wstępnym podgrzewaczu wody .....	313
17.4.2. Zintegrowany system HVAC (OWK) z ogrzewaniem i chłodzeniem płaszczyznowym. Magazynowanie energii odpadowej w gruncie .....	316
17.4.3. Zintegrowany system HVAC (OWK) z pompą ciepła w Centrum Jana Pawła II w Krakowie. Magazynowanie energii odpadowej w gruncie .....	320
17.4.4. Zintegrowany system HVAC z w budynku SPA w Puławach. Magazynowanie energii w zbiornikach buforowych i gruncie .....	321
17.4.5. Zintegrowany system HVAC z pompą ciepła w budynku jednorodzinnym. Akumulacja energii w zbiorniku buforowym i warstwie gruntu pod płytą fundamentową budynku .....	324
17.5. Podsumowanie .....	325
Literatura .....	326
<b>18. Systemy wieloźródłowe</b>	
– <i>Stefan Żuchowski, Kamil Różycki</i> .....	327
18.1. Wprowadzenie .....	327
18.2. Definicja głównych pojęć .....	328
18.3. Podział systemów wieloźródłowych .....	329
18.4. Magazyny energii stosowane w systemach wieloźródłowych .....	330
18.5. Zbiorniki buforowe czynnika grzewczego .....	333
18.6. Zbiornik buforowy pełniący funkcję sprzęgła hydraulicznego .....	334
18.7. Zbiornik buforowy na powrocie z instalacji .....	337
18.8. Zbiornik buforowy z okresowym przepływem czynnika .....	338
18.9. Dobór pojemności zbiorników buforowych czynnika grzewczego .....	340
18.10. Pojemnościowe podgrzewacze ciepłej wody użytkowej .....	340
18.11. Układy szeregowo podgrzewaczy wody .....	344
18.12. Określenie wymaganej pojemności dla podgrzewaczy wody .....	349
18.13. Zbiorniki buforowe wielofunkcyjne .....	350

---

18.14. Zbiornik buforowy typu „zbiornik w zbiorniku” . . . . .	351
18.15. Zbiornik buforowy z wbudowanym przepływowym podgrzewaczem wody w postaci węzownicy . . . . .	352
18.16. Zbiornik buforowy z przepływowym podgrzewaczem wody wyposażonym w wymiennik ciepła o dużej powierzchni, tzw. modułem świeżej wody . . . . .	354
18.17. Podsumowanie . . . . .	355
Literatura . . . . .	355
<b>19. Wykorzystanie energii słonecznej przy termomodernizacji budynków</b>	
– <i>Kamil Różycki</i> . . . . .	357
19.1. Wprowadzenie . . . . .	357
19.2. Definicja głównych pojęć . . . . .	357
19.3. Działania termomodernizacyjne . . . . .	358
19.4. Zastosowanie energii słonecznej podczas termomodernizacji budynku . . . . .	359
19.4.1. Słoneczne systemy bierne a termomodernizacja budynku . . . . .	360
19.4.2. Znaczenie oszklenia przy termomodernizacji budynku . . . . .	361
19.4.3. Słoneczne systemy aktywne a termomodernizacja budynku . . . . .	363
19.5. Wykorzystanie energii słonecznej przy termomodernizacji budynków w praktyce . . . . .	365
19.5.1. Termomodernizacja domku jednorodzinnego . . . . .	365
19.5.2. Termomodernizacja budynku wielorodzinnego . . . . .	369
19.5.3. Termomodernizacja budynku użyteczności publicznej . . . . .	372
19.6. Podsumowanie . . . . .	376
Literatura . . . . .	377
<b>20. Gruntowe magazyny ciepła</b>	
– <i>Michał Chwieduk</i> . . . . .	378
20.1. Właściwości fizyczne czynnika magazynującego . . . . .	379
20.2. Wymiarowanie gruntowego/skalnego magazynu ciepła . . . . .	383
20.3. Gruntowe wymienniki ciepła . . . . .	384
20.4. Proces wymiany ciepła w gruncie . . . . .	386
20.5. Osiągane efektywności magazynów gruntowych . . . . .	388
Literatura . . . . .	389
<b>21. Magazynowanie wodoru, ogniwa paliwowe</b>	
– <i>Wojciech Bujalski, Marcin Wołowicz</i> . . . . .	391
21.1. Wprowadzenie . . . . .	391
21.2. Zasada działania . . . . .	392

21.3. Podział ogniw paliwowych . . . . .	394
21.4. Ogniw SOFC . . . . .	394
21.5. Ogniw PEMFC . . . . .	397
21.6. Magazynowanie wodoru . . . . .	404
21.7. Podsumowanie . . . . .	405
Literatura . . . . .	406

## 22. Energetyczne wykorzystanie biomasy

– Piotr Krawczyk . . . . .	407
22.1. Definicje biomasy . . . . .	407
22.2. Charakterystyka drzewnych paliw biomasowych . . . . .	409
22.2.1. Skład chemiczny biomasy drzewnej . . . . .	409
22.2.2. Wartość opałowa drewna . . . . .	410
22.3. Wykorzystanie biomasy do produkcji ciepła w systemach lokalnych . . . . .	411
22.4. Wykorzystanie biomasy do produkcji ciepła i energii elektrycznej w systemach lokalnych . . . . .	413
22.4.1. Układy Organic Rankine Cycle (ORC) . . . . .	414
22.4.2. Układy z kotłem biomasowym i silnikiem parowym . . . . .	417
22.4.3. Układy z kotłem biomasowym i turbiną parową małej mocy . . . . .	418
22.4.4. Układy kogeneracyjne ze zgazówką biomasy i silnikiem spalinowym . . . . .	419
22.4.5. Układy z silnikiem Stirlinga . . . . .	420
22.5. Podsumowanie . . . . .	420
Literatura . . . . .	421