
Spis treści

1. Magazynowanie energii podstawą rozwoju energetyki odnawialnej

– Dorota Chwieduk	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

2. Podstawowe metody magazynowania ciepła

– Maciej Jaworski	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

3. Długoterminowe magazynowanie ciepła

– Dorota Chwieduk	45
3.1. Idea długoterminowego magazynowania ciepła	45

3.2.	Podstawowe cechy długoterminowych magazynów ciepła	48
3.3.	Gruntowe magazyny ciepła	54
	Literatura	59
4.	Magazynowanie ciepła przy wykorzystaniu materiałów zmiennofazowych (PCM)	
	– <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
5.	Magazynowanie chłodu	
	– <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
6.	Podstawy pozyskiwania energii słonecznej	
	– <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

7. Bilans cieplny budynku. Pasywne systemy słoneczne

– Dorota Chwieduk	113
7.1. Bilans cieplny 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

8. Słoneczne aktywne systemy grzewcze

– Dorota Chwieduk	134
8.1. Zasada funkcjonowania. Podstawowa klasyfikacja	134
8.2. Podstawowe elementy aktywnych systemów słonecznych	143
Literatura	147

9. Magazynowanie ciepła w słonecznych instalacjach grzewczych

– Jarosław Bigorajski, Michał Chwieduk	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

10. Systemy fotowoltaiczne

– Bartosz Chwieduk	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. Magazynowanie energii	193
11.5. Zastosowania modułów PV/T	195
Literatura	198

12. Słoneczne chłodzenie

– Adam Szelański	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 Szelański	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
14. Sorpcyjne pompy ciepła	
– <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
15. Słoneczne systemy hybrydowe	
– <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
16. Magazynowanie ciepła w elementach budynku i systemu ogrzewania	
– <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
17. Niekonwencjonalne zintegrowane systemy HVAC	
– Stefan Żuchowski	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
18. Systemy wieloźródłowe	
– Stefan Żuchowski, Kamil Różycki	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 podgrzewaczu wody	344
18.12. Określenie wymaganej pojemności dla podgrzewaczu 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. modulem świeżej wody	354
18.17. Podsumowanie	355
Literatura	355
19. Wykorzystanie energii słonecznej przy termomodernizacji budynków	
– Kamil Różycki	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
20. Gruntowe magazyny ciepła	
– Michał Chwieduk	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
21. Magazynowanie wodoru, ogniwa paliwowe	
– Wojciech Bujalski, Marcin Wołowicz	391
21.1. Wprowadzenie	391
21.2. Zasada działania	392

21.3. Podział ogniw paliwowych	394
21.4. Ogniwa SOFC	394
21.5. Ogniwa 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 zgazówarką biomasy i silnikiem spalinowym	419
22.4.5. Układy z silnikiem Stirlinga	420
22.5. Podsumowanie	420
Literatura	421