

Spis treści

Wprowadzenie XI

1. Czym są współczesne pompy ciepła	1
2. Efektywność energetyczna a pompy ciepła	9
2.1. Czym jest efektywność energetyczna	9
2.2. Rola pomp ciepła w poprawie efektywności energetycznej	12
2.3. Pompy ciepła w polityce energetycznej Polski	19
3. Rys historyczny powstania i rozwoju pomp ciepła	25
3.1. Wprowadzenie	25
3.2. Chronologia ważniejszych wydarzeń, które wpłynęły na rozwój pomp ciepła	26
3.3. Podsumowanie	34
4. Podstawy termodynamiczne działania pomp ciepła	37
4.1. Idealny obieg Carnota. Silnik cieplny	38
4.2. Idealny obieg Carnota wstecz. Pompa ciepła, chłodziarka	41
4.3. Działanie pompy ciepła. Obieg idealny i teoretyczny	44
4.4. Straty w rzeczywistych obiegach parowych	48
4.5. Obiegi termodynamiczne parowych pomp ciepła w układzie ciśnienie–entalpia	53
5. Dolne i górne źródła pomp ciepła sprężarkowych	57
5.1. Podstawy wyboru i podział źródeł ciepła pompy ciepła	58
5.2. Powietrze atmosferyczne	62
5.3. Grunt	67

5.3.1. Podstawowe cechy gruntu jako dolnego źródła pompy ciepła	67
5.3.2. Powstanie idei wykorzystania gruntu jako źródła ciepła	71
5.3.3. Wymienniki gruntowe	74
5.4. Wody gruntowe	81
5.5. Wody powierzchniowe	83
5.6. Źródła ciepła odpadowego	86
6. Zapotrzebowanie na energię użytkową, końcową i pierwotną. Rola pomp ciepła w zmniejszaniu zużycia energii	89
6.1. Konieczność ograniczenia zużycia energii	90
6.2. Zapotrzebowanie na energię użytkową	93
6.3. Zapotrzebowanie na energię końcową	96
6.4. Zapotrzebowanie na energię pierwotną	100
6.5. Wyznaczanie zużycia energii końcowej i pierwotnej w hipotetycznym budynku z pompą ciepła	103
7. Systemy sprężarkowych pomp ciepła	111
7.1. Różne systemy pomp ciepła i systemy z pompami ciepła	112
7.2. Sprężarkowa parowa pompa ciepła jako system energetyczny	113
7.2.1. Rewersyjna pompa ciepła	113
7.2.2. Kaskadowa pompa ciepła	116
7.2.3. Pompy ciepła z wielostopniowym sprężaniem	119
7.3. Sprężarkowe pompy ciepła realizujące gazowe obiegi chłodnicze	121
8. Współczynniki wydajności cieplnej pomp ciepła	127
8.1. Ocena efektywności energetycznej pomp ciepła	128
8.2. Współczynnik wydajności cieplnej COP	128
8.3. Sezonowy współczynnik wydajności cieplnej SCOP	132
8.4. Sezonowy współczynnik efektywności energetycznej SPF	135

8.5. Współczynniki opisujące współpracę pompy ciepła ze słoneczną instalacją grzewczą	136
8.6. Współczynniki efektywności energetycznej urządzeń chłodniczych	138
9. Integracja pomp ciepła z niskotemperaturowymi sieciami ciepłowniczymi małej skali	141
9.1. Wprowadzenie	142
9.2. Perspektywiczne rozwiązania technologiczne w sieciach ciepłowniczych	143
9.3. Pilotażowe instalacje sieci niskotemperaturowych	144
9.3.1. Pierwsze niskotemperaturowe sieci ciepłownicze	144
9.3.2. Instalacja pilotażowa w Lystrup – Dania	145
9.3.3. Instalacja pilotażowa w Kassel Feldlager – Niemcy	146
9.4. Analiza hipotetycznej niskotemperaturowej sieci ciepłowniczej zasilającej osiedle domów jednorodzinnych w warunkach krajowych	147
9.4.1. Hipotetyczne osiedle	147
9.4.2. Niskotemperaturowy system grzewczy osiedla	149
9.4.3. Zapotrzebowanie na ciepło w budynkach	150
9.4.4. Działanie systemu grzewczego osiedla	151
10. Pompy ciepła w systemach energetycznych nowoczesnych zeroemisyjnych miast	157
10.1. Formalne wsparcie do wykorzystania pomp ciepła w miastach	158
10.2. Metoda LCA – Ocena cyklu życia	160
10.3. Pompy ciepła w inteligentnych miastach	163
10.4. Osiedla dodatnie energetycznie	168
11. Czynniki robocze stosowane w pompach ciepła	175
11.1. Czynniki robocze obiegów podstawowych	176

11.1.1. Charakterystyka czynników roboczych w sprężarkowych pompach ciepła	177
11.1.2. Nazewnictwo	179
11.2. Wymagania prawne dotyczące stosowania czynników roboczych	181
11.3. Podział czynników ze względu na skład i budowę cząsteczkową	186
11.4. Właściwości najpopularniejszych obecnie i perspektywicznych czynników roboczych	190
11.5. Czynniki robocze w układach sorpcyjnych	204
11.5.1. Woda–wodny roztwór bromku litu	204
11.5.2. Amoniak–woda	204
11.6. Czynniki robocze obiegów pośredniczących	205
11.6.1. Wodne roztwory soli	206
11.6.2. Wodne roztwory glikolu	207
11.6.3. Roztwory alkoholi jednowodorotlenowych	208
11.7. Podsumowanie	209
12. Przykłady obliczeniowe funkcjonowania sprężarkowych pomp ciepła	213
12.1. Wprowadzenie do obliczeń energetycznych sprężarkowych pomp ciepła	214
12.2. Przykłady obliczeniowe	221
13. Absorpcyjne pompy ciepła	241
13.1. Wprowadzenie do obiegów absorpcyjnych	242
13.2. Zasada działania absorpcyjnej pompy ciepła	243
13.3. Absorpcyjna pompa ciepła pracująca wg obiegu idealnego – obieg Carnota	246
13.4. Właściwości roztworów	249
13.5. Czynniki stosowane w absorpcyjnych pompach ciepła	252
13.6. Model obliczeniowy absorpcyjnego urządzenia (pompy ciepła/ urządzenia chłodniczego) z zespołem sorpcyjnym H ₂ O-LiBr	254

13.7. Model obliczeniowy absorpcyjnego urządzenia (pompy ciepła/ urządzenia chłodniczego) z zespołem sorpcyjnym NH₃-H₂O 259

13.8. Przykład obliczeniowy z wyznaczeniem bilansu energetycznego dla absorpcyjnego urządzenia z zespołem sorpcyjnym H₂O-LiBr 265

Załącznik 1 269

Załącznik 2 270

14. Adsorpcyjne pompy ciepła 271

14.1. Wprowadzenie 272

14.2. Zasada działania adsorpcyjnych pomp ciepła/urządzeń adsorpcyjnych 273

14.3. Obieg termodynamiczny złoża adsorpcyjnego 276

14.4. Zaawansowane obiegi adsorpcyjne 280

14.5. Zespoły sorpcyjne do adsorpcyjnych pomp ciepła 283

14.6. Podsumowanie 285

15. Wysokotemperaturowe pompy ciepła w zastosowaniach ciepłowniczych 287

15.1. Przestanki do wykorzystania pomp ciepła w systemach ciepłowniczych 288

15.1.1. Przestanki natury prawnej 288

15.1.2. Przestanki natury technicznej 290

15.2. Warunki techniczne 292

15.2.1. Uwarunkowania po stronie sieci ciepłowniczej 292

15.2.2. Dostępne źródła ciepła 293

15.2.3. Konfiguracja układów 295

15.2.4. Czynniki robocze 299

15.3. Strategie doboru i sterowania pomp ciepła 301

15.4. Uwarunkowania ekonomiczne 303

16. Zastosowania pomp ciepła. Budownictwo jednorodzinne – mikroskala	307
16.1. Ogólna charakterystyka i wymagania stawiane układom z pompami ciepła stosowanym w budownictwie jednorodzinnym	307
16.2. Podział rozwiązań z pompami ciepła w zależności od sposobu przygotowania ciepłej wody	309
16.2.1. Pompa ciepła z kompaktowym modułem wewnętrznym	309
16.2.2. Pompa ciepła z naściennym modułem wewnętrznym oraz podgrzewaczem wody o dużej pojemności	311
16.2.3. Pompa ciepła z naściennym modułem wewnętrznym oraz podgrzewaczem wody do współpracy z kolektorami słonecznymi na potrzeby wspomagania przygotowania ciepłej wody użytkowej	312
16.2.4. Pompa ciepła z naściennym modułem wewnętrznym i kolektorami słonecznymi na potrzeby wspomagania ogrzewania budynku i przygotowania ciepłej wody. System z warstwowym zbiornikiem wielofunkcyjnym i przepływowym podgrzewaczem wody	315
16.2.5. Pompa ciepła z naściennym modułem wewnętrznym i kolektorami słonecznymi na potrzeby wspomagania ogrzewania budynku i przygotowania ciepłej wody. System ze zbiornikiem buforowym z wbudowanym dodatkowym zbiornikiem ciepłej wody	317
16.2.6. Pompa ciepła z naściennym modułem wewnętrznym i kolektorami słonecznymi na potrzeby wspomagania ogrzewania budynku i przygotowania ciepłej wody. System ze zbiornikiem buforowym wbudowaną wężownicą pełniącą rolę przepływowego podgrzewacza wody	319
16.2.7. Projektowanie instalacji ze zbiornikiem wielofunkcyjnym	321
16.3. Rozwiązania z pompami ciepła typu powietrze–woda. Podział w zależności od budowy pompy ciepła	322
16.3.1. Pompy ciepła powietrze–woda typu split	322
16.3.2. Pompy ciepła powietrze–woda typu monoblok do montażu na zewnątrz budynku	323
16.3.3. Monoblokowe pompy ciepła powietrze–woda do montażu wewnątrz budynku	326
16.4. Typowe schematy hydrauliczne z pompami ciepła powietrze–woda typu split	328
16.4.1. Układ z bezpośrednim zasilaniem instalacji grzewczej	328

16.4.2. Układ ze zbiornikiem buforowym z funkcją sprzęgła hydraulicznego	
329	
16.4.3. Układ ze zbiornikiem buforowym w układzie szeregowo-równoległym	
331	
16.5. Typowe schematy hydrauliczne z pompami ciepła monoblok do montażu na zewnątrz budynku	332
16.5.1. Układ z bezpośrednim zasilaniem instalacji grzewczej	332
16.5.2. Układ ze zbiornikiem buforowym z funkcją sprzęgła hydraulicznego	
334	
16.6. Schematy hydrauliczne z pompami ciepła współpracującymi z dolnym źródłem w postaci sond gruntowych, z wykorzystaniem funkcji chłodzenia pasywnego	
335	
16.6.1. Układ z bezpośrednim zasilaniem instalacji grzewczej	335
16.6.2. Układ z wielofunkcyjnym zbiornikiem buforowym, kolektorami słonecznymi i chłodzeniem pasywnym	337
17. Zastosowania pomp ciepła. Budownictwo wielorodzinne, budynki użyteczności publicznej – mała i średnia skala	339
17.1. Ogólna charakterystyka i wymagania stawiane układom z pompami ciepła stosowanym w budownictwie wielorodzinnym i budynkach użyteczności publicznej	
340	
17.2. Rozwiązania z pompami ciepła powietrze-woda. Zastosowanie indywidualnych pomp ciepła dla poszczególnych mieszkań	341
17.3. Rozwiązania z zastosowaniem zbiorczego układu pomp ciepła zasilającego instalację w budynku wielorodzinnym	343
17.4. Rozwiązania mieszane z centralną instalacją niskotemperaturowych pomp ciepła oraz mieszkaniowymi pompami ciepła niskiej mocy podnoszącymi temperaturę czynnika	350
17.4.1. Przykłady rozwiązań mieszanych – połączenie centralnej instalacji pomp ciepła z mieszkaniowymi pompami ciepła na potrzeby ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody	350
17.4.2. Przykłady rozwiązań mieszanych – mieszkaniowe pompy ciepła współpracujące z sondami gruntowymi	352

17.4.3. Przykłady rozwiązań mieszanych – połączenie centralnej instalacji pomp ciepła z ogrzewaniem podłogowym i mieszkaniowymi pompami ciepła woda–woda na potrzeby przygotowania ciepłej wody 353

17.4.4. Przykłady rozwiązań mieszanych w budynkach użyteczności publicznej, w szczególności budynkach biurowych – połączenie centralnej instalacji z pompą ciepła oraz pętlą wodną, miejscowymi pompami ciepła powietrze–woda/woda–powietrze i wieżą chłodniczą 355

17.4.5. Przykłady rozwiązań z pompami ciepła w budynkach użyteczności publicznej, obiekt hotelowy z instalacją pomp ciepła na potrzeby ogrzewania i chłodzenia budynku 356

17.4.6. Przykłady rozwiązań z pompami ciepła w budynkach użyteczności publicznej, wykorzystanie magistrali wodociągowej w funkcji dolnego źródła pomp ciepła 358

17.4.7. Przykład rozwiązania z pompami ciepła z wykorzystaniem ciepła odpadowego w małej i średniej skali 359

18. Zastosowania pomp ciepła. Skala makro 363

18.1. Obiekty wielkokubaturowe – ogrzewanie i chłodzenie budynków, przygotowanie ciepłej wody 363

18.2. Pompy ciepła w sieciach ciepłowniczych 364

18.3. Pompy ciepła w zakładach produkcyjnych, gospodarka obiegu zamkniętego w procesach o temperaturze poniżej 100°C 365

18.4. Pompy ciepła w zakładach produkcyjnych, gospodarka obiegu zamkniętego. Pilotażowe instalacje z pompami ciepła w procesach o temperaturze powyżej 100°C 370