

Spis treści

1. Wstęp	1
2. Fizyczne podstawy termodynamiki	3
2.1. Układ termodynamiczny	3
2.2. Zerowa zasada termodynamiki	6
2.3. Energia wewnętrzna i ciepło	9
2.4. Sposoby zmiany energii	10
2.4.1. Praca w układzie termodynamicznym	10
2.4.2. Postulat stanu (minus pierwsza zasada termodynamiki)	13
2.4.3. Ciepło	14
3. Pierwsza zasada termodynamiki	17
3.1. Ciepło właściwe przemian układów prostych ściśliwych	22
3.2. Analiza równań pierwszej zasady termodynamiki	23
3.3. Procesy nieodwracalne, analiza zjawisk z tarcieniem	26
4. Druga zasada termodynamiki	31
4.1. Wprowadzenie entropii do termodynamiki za pomocą obiegu Carnota	36
4.2. Formalne wprowadzenie entropii do termodynamiki przez Carathéodory'ego	43
4.3. Połączenie pierwszej i drugiej zasady termodynamiki – egzergia	46
4.4. Równanie fundamentalne	52
4.5. Przekształcenia Legendre'a zmiennych zależnych, związki Maxwella	53
4.6. Zamiana zmiennych niezależnych – jacobiany	56
4.7. Warunki równowagi układu z otoczeniem	59
5. Trzecia zasada termodynamiki	63
6. Zastosowania termodynamiki klasycznej	67
6.1. Gaz doskonały	69
6.1.1. Równanie stanu gazu doskonałego	69
6.1.2. Entropia gazu doskonałego, równanie fundamentalne	77
6.1.3. Przemiany gazu doskonałego	78
6.1.4. Równanie stanu gazu – entropia jako opis stanu mikroskopowego	86
6.1.5. Równowaga układu wypełnionego gazem doskonałym	88
6.2. Gazy rzeczywiste	90
6.2.1. Równowaga faz	94
6.2.2. Przemiany gazu rzeczywistego	100
6.3. Gazy wilgotne	104
6.3.1. Charakterystyka gazu wilgotnego	104
6.3.2. Parametry gazu wilgotnego	105

6.3.3.	Mieszanie gazów wilgotnych	109
6.3.4.	Pomiar zawartości wilgoci	113
6.4.	Promieniowanie	114
7.	Układy wykonujące inne rodzaje pracy niż zmiana objętości	119
7.1.	Pole grawitacyjne	119
7.2.	Prosta substancja magnetyczna	123
7.3.	Prosta substancja elektrostatyczna	129
7.4.	Ciała stałe elastyczne	132
7.5.	Błona powierzchniowa	135
7.6.	Ogniwo odwracalne	136
7.7.	Substancje złożone	138
7.7.1.	Substancja w polu elektrycznym lub magnetycznym poddana obciążeniom mechanicznym	138
7.7.2.	Układy z reakcjami chemicznymi	141
8.	Zastosowanie zasad termodynamiki w technice	149
8.1.	Wprowadzenie	149
8.2.	Równania bilansu masy, pędu i energii technicznego układu otwartego	149
8.2.1.	Przykłady zastosowań równań bilansu masy, pędu i energii	155
8.2.2.	Dysza izotermiczna	158
8.3.	Problematyka spalania	165
8.3.1.	Paliwa	166
8.3.2.	Zapotrzebowanie powietrza do spalania	167
8.3.3.	Współczynnik nadmiaru powietrza	168
8.3.4.	Temperatura zapłonu i samozapłonu	169
8.3.5.	Ciepło spalania i wartość opałowa paliwa	170
8.3.6.	Temperatura spalania	172
8.3.7.	Masa i objętość spalin	173
8.3.8.	Straty powstające przy spalaniu	174
8.3.9.	Ciepło tworzenia	175
8.3.10.	Analiza energetyczna układów z reakcjami	180
8.3.11.	Ciepło reakcji – entalpia i energia wewnętrzna spalania	181
8.3.12.	Adiabatyczna temperatura płomienia	184
8.3.13.	Analiza drugiej zasady termodynamiki dla układów z reakcjami chemicznymi	189
8.3.14.	Ogniwa paliwowe	190
8.4.	Analiza energetyczna i egzergetyczna	194
8.5.	Obiegi termodynamiczne prawobieżne – układy produkujące pracę	197
8.5.1.	Obieg Clausiusa–Rankine’a – obieg turbiny parowej	198
8.5.2.	Obieg Braytona – obieg turbiny gazowej	202
8.5.3.	Siłownie jądrowe	203
8.6.	Obiegi termodynamiczne lewobieżne – podstawy chłodnictwa	210
8.6.1.	Podstawowy obieg chłodniczy chłodzony powietrzem	215
8.6.2.	Lewobieżny obieg Braytona	215
8.6.3.	Sprężarkowe obiegi chłodnicze	217
8.6.4.	Warianty sprężarkowych urządzeń chłodniczych	219
8.6.5.	Absorpcyjne układy chłodnicze	222
8.7.	Pompy ciepła	225
8.8.	Urządzenia strumienicowe	226
8.9.	Inne metody chłodzenia – efekt termoelektryczny	228
8.10.	Klimatyzacja	229

8.10.1. Komfort człowieka	230
8.10.2. Temperatura i wilgotność	232
8.10.3. Podstawowa klimatyzacja centralna	233
8.10.4. Systemy all-air	234
8.10.5. Systemy powietrze-woda	235
8.10.6. Klimatyzatory jednostkowe	236
8.10.7. Klimatyzatory pokojowe	237
9. Wprowadzenie do liniowej termodynamiki procesów nieodwracalnych	239
9.1. Postulat równowagi lokalnej	240
9.2. Lokalne sformułowanie drugiej zasady termodynamiki	241
9.3. Efekty krzyżowe	244
9.4. Relacje Onsagera – czwarta zasada termodynamiki	244
9.5. Procesy stacjonarne	246
9.6. Przykłady procesów nierównowagowych	249
9.6.1. Przepływ ciepła i prądu elektrycznego przez przewodnik	249
9.6.2. Sprężenie termomechaniczne	255
10. Wpływ termodynamiki na inne dziedziny nauki	263
10.1. Statystyczna entropia	264
10.2. Teoria informacji	265
10.3. Równoważność informatycznej, statystycznej i termicznej entropii	265
11. Zakończenie	271
Bibliografia	273