

Spis treści

Przedmowa	11
Wykaz ważniejszych oznaczeń	13
1. Wiadomości wstępne	17
1.1. Wielkości fizyczne i jednostki miar stosowane w technice cieplnej	17
1.2. Podstawowe pojęcia w termodynamice	19
1.3. Podstawowe pojęcia z matematyki stosowane w technice cieplnej	25
2. Pierwsza zasada termodynamiki	36
2.1. Bilans substancji	36
2.2. Bilans energii	36
2.3. Energia układu, energia wewnętrzna układu	38
2.4. Entalpia	42
2.5. Ciepło	43
2.6. Praca	45
2.6.1. Praca bezwzględna	46
2.6.2. Praca użyteczna	47
2.6.3. Praca techniczna	48
2.7. Sformułowanie pierwszej zasady termodynamiki	49
2.7.1. Pierwsza zasada termodynamiki dla układów zamkniętych	49
2.7.2. Pierwsza zasada termodynamiki dla idealnej maszyny przepływowej	51
2.7.3. Pierwsza zasada termodynamiki z uwzględnieniem energii kinetycznej i potencjalnej układu	52
3. Gazy doskonałe, półdoskonałe i rzeczywiste	53
3.1. Gazy doskonałe	53
3.1.1. Pojęcie gazu doskonałego	53
3.1.2. Prawa gazów doskonałych	54
3.1.2.1. Prawo izotermi Boyle'a-Mariotte'a	54
3.1.2.2. Prawo izobary Gay-Lussaca	55
3.1.2.3. Prawo izochory Charlesa	55
3.1.2.4. Prawo Avogadra	56
3.1.2.5. Równanie stanu gazów doskonałych	57
3.1.2.6. Wzory redukcyjne	59
3.1.3. Energia wewnętrzna i entalpia gazów doskonałych	60
3.2. Gazy półdoskonałe	66
3.3. Roztwory gazów doskonałych i półdoskonałych	68
3.3.1. Pojęcie roztworu gazu doskonałego i półdoskonałego	68

3.3.2. Udziały substancjalne	68
3.3.3. Termiczne równanie stanu roztworu	71
3.3.4. Kaloryczne równania stanu roztworu	72
3.3.5. Powietrze	74
3.4. Gazy rzeczywiste	75
3.4.1. Pojęcie gazu rzeczywistego	75
3.4.2. Równanie stanu gazów rzeczywistych	77
3.4.3. Ciepło molowe, entalpia i energia wewnętrzna gazów rzeczywistych	83
4. Przemiany gazów doskonałych	85
4.1. Wiadomości ogólne	85
4.2. Politropa	86
4.3. Izochora	90
4.4. Izobara	91
4.5. Izoterma	93
4.6. Adiabata odwracalna	94
4.7. Rodzaje przemian politropowych	97
4.8. Adiabata nieodwracalna	98
4.9. Dławienie	98
4.9.1. Dławienie adiabatyczno-izoenergetyczne	99
4.9.2. Dławienie adiabatyczno-izentalpowe	99
4.10. Dyfuzja	101
5. Druga zasada termodynamiki	103
5.1. Przemiany (procesy) odwracalne i nieodwracalne	103
5.2. Sformułowanie drugiej zasady termodynamiki	105
5.3. Entropia	106
5.4. Obliczanie entropii	110
5.4.1. Ciała stałe i ciecze	110
5.4.2. Gazy doskonałe i półdoskonałe	111
5.4.3. Roztwory gazów doskonałych i półdoskonałych	112
5.4.4. Gazy rzeczywiste	113
5.5. Statystyczna interpretacja entropii oraz drugiej zasady termodynamiki	114
5.6. Entropia w przemianach charakterystycznych gazów doskonałych	117
5.6.1. Politropa	117
5.6.2. Izochora	118
5.6.3. Izobara	119
5.6.4. Izoterma	120
5.6.5. Adiabata	120
5.7. Egzergia	121

6. Obiegi termodynamiczne	125
6.1. Uwagi wstępne	125
6.2. Obiegi prawobieżne i lewobieżne	126
6.3. Obieg Carnota	130
6.4. Obieg porównawczy Otta	134
6.5. Obieg porównawczy Diesla	136
6.6. Obieg porównawczy Sabathého (Seiligera)	138
6.7. Obieg porównawczy Lenoira	139
6.8. Obieg porównawczy Joule’a	141
6.9. Sprężarki teoretyczne (idealne)	143
6.10. Straty energetyczne maszyn ciepłych	147
7. Para substancji jednorodnej chemicznie	152
7.1. Stany skupienia	152
7.2. Wytwarzanie pary przy stałym ciśnieniu	154
7.3. Określanie parametrów pary wodnej	156
7.3.1. Ciecz wrząca	156
7.3.2. Para nasycona sucha	157
7.3.3. Para nasycona mokra	160
7.3.4. Para przegrzana	161
7.4. Termodynamiczne wykresy stanu	161
7.4.1. Wykres p-v	162
7.4.2. Wykres T-s	163
7.4.3. Wykres i-s	165
7.4.4. Wykres $\lg p$ -i i wykres T-i	166
7.5. Przemiany pary substancji jednorodnej chemicznie	167
7.5.1. Izochora	168
7.5.2. Izobara	169
7.5.3. Izoterma	171
7.5.4. Izentropa	171
7.5.5. Adiabata nieodwracalna	172
7.5.6. Dławienie izentalpowe	173
7.6. Obiegi siłowni parowych	174
7.7. Obiegi parowe urządzeń chłodniczych	178
7.8. Skraplanie gazów	181
8. Gazy wilgotne	184
8.1. Uwagi ogólne	184
8.2. Parametry gazów wilgotnych	184
8.3. Wykresy gazów wilgotnych	190
8.3.1. Wykres psychrometryczny (fazowy) X-T	190
8.3.2. Wykres entalpowy dla gazu wilgotnego	191

8.4. Izobaryczne przemiany gazu wilgotnego	196
8.4.1. Osuszanie gazu	196
8.4.2. Mieszanie izobaryczno-adiabatyczne dwóch strumieni wilgotnego gazu	197
8.4.3. Mieszanie wilgotnego gazu z cieczą lub parą cieczy	198
8.4.4. Suszenie ciała stałego	200
9. Spalanie	203
9.1. Pojęcia podstawowe	203
9.2. Rodzaje paliw	205
9.2.1. Paliwa stałe	206
9.2.2. Paliwa ciekłe	206
9.2.3. Paliwa gazowe	207
9.2.4. Biopaliwa	207
9.3. Spalanie zupełne i całkowite paliw stałych i ciekłych	208
9.3.1. Skład paliw	208
9.3.2. Zapotrzebowanie powietrza do spalania	209
9.3.3. Ilość i skład spalin	212
9.4. Spalanie zupełne i całkowite paliw gazowych	215
9.4.1. Skład paliw	215
9.4.2. Zapotrzebowanie powietrza do spalania	216
9.4.3. Ilość i skład spalin	217
9.5. Ciepło spalania i wartość opałowa paliwa	217
9.6. Temperatura spalania	220
9.7. Straty przy spalaniu	221
9.8. Zgazowanie paliw stałych	223
9.9. Bilans cieplny kotła parowego	224
10. Przepływ płynów	226
10.1. Charakterystyka płynów	226
10.2. Średnia prędkość płynów, przepływ ustalony i nieustalony	229
10.3. Równanie ciągłości przepływu (strugi)	230
10.4. Równanie Bernoullego	231
10.4.1. Równanie Bernoullego dla płynów doskonałych	231
10.4.2. Równanie Bernoullego dla płynów rzeczywistych	233
10.4.3. Zastosowanie równania Bernoullego do pomiarów prędkości	234
10.4.3.1. Rurka Prandtla	234
10.4.3.2. Kryza pomiarowa	236
10.5. Rodzaje przepływu	238
10.5.1. Przepływ laminarny	238
10.5.2. Krytyczna liczba Reynoldsa	240
10.5.3. Przepływ turbulentny	241
10.5.4. Warstwa przyścienna	244

10.6. Opory przepływu	246
10.6.1. Straty ciśnienia wskutek tarcia	247
10.6.2. Straty ciśnienia wskutek oporów miejscowych	249
10.6.3. Opory przepływu przy opływie brył ciała stałego	250
10.6.4. Opory przepływu płynu przez złożę nieruchome	252
10.7. Swobodne opadanie cząstek ciała stałego w płynie	254
10.8. Przepływ cieczy pod działaniem sił napięcia powierzchniowego	258
10.9. Wyływ cieczy ze zbiornika	260
10.9.1. Ustalony wyływ cieczy ze zbiornika	260
10.9.2. Nieustalony wyływ cieczy ze zbiornika	261
11. Wymiana ciepła	263
11.1. Ogólna charakterystyka procesów cieplnych	263
11.2. Przewodzenie ciepła	265
11.2.1. Współczynnik przewodzenia ciepła	265
11.2.2. Ustalone jednokierunkowe przewodzenie ciepła w ciałach stałych	266
11.2.2.1. Ścianka płaska	266
11.2.2.2. Ścianka cylindryczna	270
11.2.2.3. Ścianka kulista	271
11.2.3. Równanie różniczkowe przewodzenia ciepła w ciałach stałych	272
11.3. Konwekcyjne przenoszenie ciepła	278
11.3.1. Wprowadzenie	278
11.3.2. Różniczkowe równanie energii	280
11.3.3. Zastosowanie teorii podobieństwa zjawisk i analizy wymiarowej w procesie wnikania ciepła	282
11.3.4. Konwekcja swobodna (naturalna)	287
11.4. Konwekcja przy zmianie stanu skupienia	290
11.4.1. Wrzenie	290
11.4.2. Kondensacja (skraplanie) pary	292
11.4.3. Krzepnięcie (zamrażanie)	293
11.5. Przenikanie ciepła	295
11.5.1. Przenikanie ciepła przez ścianki	295
11.5.2. Sposoby zwiększania intensywności przenikania ciepła	297
11.5.3. Krytyczna średnica izolacji	298
11.6. Promieniowanie	299
11.6.1. Podstawowe pojęcia	299
11.6.2. Podstawowe prawa promieniowania	301
11.6.3. Typowe przypadki wymiany ciepła przez promieniowanie	305
11.7. Wymienniki ciepła	309
11.7.1. Podział wymienników ciepła	309
11.7.2. Średnia różnica temperatur	310

12. Wymiana masy	315
12.1. Analogia zjawisk	315
12.2. Wiadomości ogólne o procesach wymiany masy	316
12.2.1. Wprowadzenie	316
12.2.2. Wymiana masy przez dyfuzję	316
12.2.3. Wymiana masy przez konwekcję	317
12.3. Jednoczesne przenoszenie ciepła i masy	322
12.4. Suszenie	323
12.4.1. Termodynamika materiału wilgotnego	323
12.4.2. Przebieg procesu konwekcyjnego suszenia	328
12.4.3. Przenoszenie ciepła i masy w procesie suszenia	332
12.4.4. Ogólne zasady obliczania suszarek	337
12.4.5. Podstawowe schematy suszarek	340
13. Ogólny opis programu komputerowego	347
13.1. Wprowadzenie	347
13.2. Moduł TERMODYNAMIKA	352
13.3. Moduł PARA	354
13.4. Moduł MIESZANINA	355
13.5. Moduł PRZEPŁYW	355
13.6. Moduł WYMIANA CIEPŁA	356
13.7. Moduł MIARY	358
13.8. Moduł TEST	358
14. Tablice i wykresy	360
Literatura	428
Skorowidz nazwisk	431
Skorowidz rzeczowy	433