

# Spis treści

<b>PRZEDMOWA.....</b>	<b>11</b>
<b>WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ.....</b>	<b>13</b>
<b>I. POJĘCIA PODSTAWOWE W TERMODYNAMICE.....</b>	<b>19</b>
<b>Wykład 1: WPROWADZENIE DO PRZEDMIOTU.....</b>	<b>19</b>
1.1. Wstęp .....	19
1.2. Metody badawcze termodynamiki.....	21
1.3. Aksjomaty termodynamiki fenomenologicznej.....	22
1.4. Czynniki termodynamiczne.....	22
1.4.1. Materia i sposoby jej określania.....	22
1.4.2. Rodzaje czynnika termodynamicznego .....	26
1.5. Układ termodynamiczny i otoczenie .....	26
1.6. Uzupełnienia.....	30
Pytania sprawdzające .....	31
Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	31
<b>Wykład 2: IDENTYFIKACJA UKŁADU TERMODYNAMICZNEGO</b>	<b>33</b>
2.1. Parametry układu.....	33
2.2. Stan układu .....	34
2.3. Równania stanu układu .....	35
2.4. Pojęcie przemiany termodynamicznej i obiegu.....	36
2.5. Równowaga termodynamiczna.....	39
2.5.1. Zerowa zasada termodynamiki a równowaga termiczna .....	41
2.5.2. Stan równowagowy i stan ustalony układu.....	42
2.5.3. Pojęcie przemiany równowagowej (quasistatycznej).....	44
Pytania sprawdzające .....	44
Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	45
<b>II. ZAGADNIENIA PIERWSZEJ ZASADY TERMODYNAMIKI.....</b>	<b>47</b>
<b>Wykład 3: ENERGIA UKŁADU I SPOSOBY JEJ ZMIANY .....</b>	<b>47</b>
3.1. Pojęcie energii układu .....	47
3.1.1. Energia zewnętrzna układu.....	47
3.1.2. Energia wewnętrzna układu.....	48
3.2. Sposoby zmiany energii układu .....	49
3.2.1. Pojęcie i rodzaje pracy .....	51
3.2.2. Praca absolutna (bezwzględna) .....	53
3.2.3. Praca użyteczna w przemianie quasistatycznej.....	55
3.2.4. Praca w układzie z tarciem .....	56

3.2.5. Praca techniczna .....	58
3.3. Wyrażenie <i>Pfaffa</i> w równaniach termodynamiki.....	61
Pytania sprawdzające .....	63
Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	64
<b>Wykład 4: WZAJEMNE ZWIĄZKI ENERGII, PRACY I CIEPŁA</b> .....	67
4.1. Praca w układzie adiabatycznym .....	67
4.2. Praca przetłaczania .....	68
4.3. Pojęcie entalpii .....	68
4.4. Pojęcie ciepła w termodynamice .....	70
4.5. Sformułowanie pierwszej zasady termodynamiki (I ZT).....	72
4.5.1. Równania pierwszej zasady termodynamiki .....	74
4.5.2. Zastosowanie pierwszej zasady termodynamiki w odniesieniu do obiegu .....	75
4.6. Zamiana pracy na ciepło .....	77
Pytania sprawdzające .....	78
Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	79
<b>Wykład 5: NIEKTÓRE KONSEKWENCJE PIERWSZEJ ZASADY TERMODYNAMIKI</b> .....	81
5.1. Interpretacja graficzna pierwszej zasady termodynamiki .....	81
5.2. Bilans energii układu otwartego.....	81
5.3. Ogólne pojęcie ciepła właściwego.....	87
5.3.1. Średnie ciepło właściwe i jego interpretacje .....	88
5.3.2. Ciepło właściwe według pierwszej zasady termodynamiki.....	91
Pytania sprawdzające .....	93
Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	93
<b>III. ZAGADNIENIA DRUGIEJ ZASADY TERMODYNAMIKI.....</b>	95
<b>Wykład 6: WPROWADZENIE DO DRUGIEJ ZASADY TERMODYNAMIKI</b> .....	95
6.1. Wstęp.....	95
6.2. Kierunkowość procesów rzeczywistych .....	95
6.3. Nieodwracalność przemian termodynamicznych .....	97
6.4. Pojęcie entropii .....	99
6.5. Zasada wzrostu entropii .....	102
6.6. Układ współrzędnych $T - S$ .....	105
6.7. Sformułowania drugiej zasady termodynamiki (tzw. werbalne).....	106
Pytania sprawdzające .....	108
<b>Wykład 7: OBIEGI W ŚWIETLE DRUGIEJ ZASADY TERMODYNAMIKI</b> .....	109
7.1. Obiegi prawobieżne (silnikowe) .....	109

7.1.1.	Pojęcie i interpretacja pracy obiegu .....	110
7.1.2.	Całka <i>Clausiusa</i> dla obiegu prawobieżnego .....	111
7.1.3.	Sprawność obiegu silnika cieplnego .....	115
7.1.4.	Prawobieżny odwracalny obieg <i>Carnota</i> .....	117
7.2.	Obiegi lewobieżne maszyn ciepłych roboczych .....	119
7.2.1.	Pompa ciepła a chłodziarka .....	120
7.2.2.	Współczynnik wydajności cieplnej obiegu lewobieżnego .....	121
7.2.3.	Lewobieżny odwracalny obieg <i>Carnota</i> .....	123
	Pytania sprawdzające .....	125
	Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	125

## Wykład 8: NIEKTÓRE KONSEKWENCJE DRUGIEJ ZASADY

	<b>TERMODYNAMIKI .....</b>	<b>127</b>
8.1.	Połączony zapis pierwszej i drugiej zasady termodynamiki .....	127
8.2.	Termodynamiczna skala temperatury.....	128
8.3.	Funkcje termodynamiczne i związki między nimi .....	131
8.3.1.	Energia swobodna układu.....	132
8.3.2.	Entalpia swobodna układu.....	133
8.3.3.	Podstawowe równania różniczkowe termodynamiki .....	134
8.4.	Kryteria równowagi termodynamicznej .....	137
8.5.	Pojęcie i interpretacja egzergii .....	139
	Pytania sprawdzające .....	143
	Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	143

## IV. TERMODYNAMIKA GAZÓW DOSKONAŁYCH

### I PÓLDOSKONAŁYCH .....

145

## Wykład 9: RÓWNANIA STANU GAZU DOSKONAŁEGO .....

145

9.1.	Modele gazowych czynników termodynamicznych .....	145
9.2.	Termiczne równanie stanu gazu doskonałego.....	146
9.3.	Kaloryczne równania stanu gazu doskonałego i półdoskonałego.....	151
9.3.1.	Ciepło właściwe .....	151
9.3.2.	Energia wewnętrzna .....	157
9.3.3.	Entalpia.....	161
9.3.4.	Entropia .....	161
	Pytania sprawdzające .....	163
	Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	164

## Wykład 10: PRZEMIANY TERMODYNAMICZNE

### ODWRACALNE .....

167

10.1.	Wprowadzenie .....	167
10.2.	Uogólniona przemiana politropowa.....	167
10.3.	Szczególne przypadki przemiany politropowej.....	175
10.3.1.	Przemiana izotermiczna .....	176

10.3.2. Przemiany izobaryczna i izochoryczna .....	179
10.3.3. Przemiana adiabatyczna odwracalna (izentropowa) .....	182
Pytania sprawdzające .....	186
Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	187
<b>Wykład 11: PRZEMIANY TERMODYNAMICZNE</b>	
<b>NIEODWRACALNE .....</b>	189
11.1. Wprowadzenie .....	189
11.2. Przemiana adiabatyczna nieodwracalna .....	189
11.3. Przemiana dławienia.....	193
11.4. Wymiana ciepła przy skończonej różnicy temperatury .....	196
11.5. Mieszanki (roztwory) gazów doskonałych .....	198
11.6. Przemiana mieszania gazów doskonałych .....	202
Pytania sprawdzające .....	205
Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	205
<b>V. ZARYS TERMODYNAMIKI GAZÓW RZECZYWISTYCH.....</b>	207
<b>Wykład 12: POJĘCIE GAZU RZECZYWISTEGO I OPIS</b>	
<b>PARAMETRÓW JEGO STANU .....</b>	207
12.1. Wprowadzenie.....	207
12.2. Równanie termiczne stanu gazu rzeczywistego .....	209
12.3. Pojęcie fazy i przemiany fazowej .....	217
12.4. Pojęcie równowagi fazowej .....	219
12.5. Przejścia fazowe .....	219
Pytania sprawdzające .....	221
<b>Wykład 13: WYBRANE ZAGADNIENIA TERMODYNAMIKI</b>	
<b>PARY WODNEJ .....</b>	223
13.1. Wykres przemian fazowych dla wody .....	223
13.2. Izobaryczny proces wytwarzania pary wodnej .....	225
13.3. Parametry termiczne i kaloryczne pary nasyconej mokrej.....	227
13.4. Wykresy termodynamiczne pary wodnej .....	230
13.5. Podstawowe przemiany termodynamiczne pary wodnej .....	235
Pytania sprawdzające .....	242
Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	243
<b>Wykład 14: OBIEGI SIŁOWNI PAROWEJ .....</b>	245
14.1. Wprowadzenie .....	245
14.2. Obieg porównawczy <i>Clausiusa – Rankine’a</i> .....	246
14.3. Metody podwyższenia sprawności termicznej siłowni parowej w obiegu <i>Clausiusa – Rankine’a</i> .....	252
14.3.1. Zmiana parametrów pary w kotle i skraplaczu.....	252

---

14.3.2. Międzypłynowy przegrzew pary .....	253
14.3.3. Regeneracja ciepła w siłowni parowej .....	255
14.3.4. Zastosowanie siłowni dwuczynnikowej (binarnej) .....	257
14.4. Moc i sprawność rzeczywistego obiegu siłowni parowej .....	259
Pytania sprawdzające .....	261
Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	261
<b>Wykład 15: PODSTAWY TERMODYNAMIKI POWIETRZA</b>	
<b>WILGOTNEGO .....</b>	263
15.1. Wprowadzenie .....	263
15.2. Pojęcie powietrza wilgotnego i jego rodzaje .....	263
15.3. Parametry powietrza wilgotnego .....	264
15.4. Równanie termiczne stanu powietrza wilgotnego .....	270
15.5. Podstawy budowy wykresu $h - x$ <i>Molliera</i> .....	271
15.5.1. Wykres ciśnień cząstkowych pary wodnej w powietrzu wilgotnym.....	275
15.5.2. Podziałka kierunkowa przemian na wykresie $h - x$ .....	276
Pytania sprawdzające .....	279
Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	280
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	281

