

POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA

TERMODYNAMIKA TECHNICZNA

Laboratorium

pod redakcją
Daniela Zbrońskiego

Skrypt



Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej

Częstochowa 2023

Recenzent

Prof. dr hab. inż. Jarosław Krzywański, UJD

Redakcja

Paulina Rak

Redakcja techniczna

Robert Świerczewski

Projekt okładki

Dorota Boratyńska

ISBN 978-83-7193-937-2

e-ISBN 978-83-7193-938-9

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2023

© Copyright by Daniel Zbroński, Częstochowa 2023

Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 42-202 Częstochowa, al. Armii Krajowej 36 B
redakcja tel. 34 325 04 80, dystrybucja tel. 34 325 03 93
e-mail: wydawnictwo@pcz.pl, www.wydawnictwo.pcz.pl

[Kup książkę](#)

SPIS TREŚCI

Przedmowa	7
1. Pomiar ciśnienia atmosferycznego (Daniel Zbroński)	9
Cel ćwiczenia	9
1.1. Wprowadzenie teoretyczne	9
1.1.1. Definicja, wzór i jednostki ciśnienia	9
1.1.2. Charakterystyka atmosfery ziemskiej	10
1.1.3. Wyznaczanie wartości ciśnienia atmosferycznego	10
1.1.4. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	15
1.2. Część praktyczna	19
1.3. Wzór sprawozdania	22
Literatura	22
2. Sprawdzanie wskazań wakuometru sprężystego za pomocą ciśnieniomierza hydrostatycznego i pompy próżniowej (Daniel Zbroński)	23
Cel ćwiczenia	23
2.1. Wprowadzenie teoretyczne	23
2.1.1. Pojęcia podstawowe	23
2.1.2. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	25
2.2. Część praktyczna	28
2.3. Wzór sprawozdania	33
Literatura	33
3. Sprawdzanie wskazań manometru sprężystego za pomocą manometru kontrolnego i prasy hydraulicznej (Daniel Zbroński)	34
Cel ćwiczenia	34
3.1. Wprowadzenie teoretyczne	34
3.1.1. Pojęcia podstawowe	34
3.1.2. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	35
3.2. Część praktyczna	38
3.3. Wzór sprawozdania	42
Literatura	43
4. Wzorcowanie mikromanometru z rurką pochyłą (Daniel Zbroński)	44
Cel ćwiczenia	44
4.1. Wprowadzenie teoretyczne	44
4.1.1. Pojęcia podstawowe	44
4.1.2. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	46
4.2. Część praktyczna	48
4.3. Wzór sprawozdania	53
Literatura	53

5. Pomiar temperatury wody termometrem rozszerzalnościowym cieczowym (Agnieszka Kijo-Kleczkowska, Aleksandra Górecka-Zbrońska)	54
Cel ćwiczenia	54
5.1. Wprowadzenie teoretyczne	54
5.1.1. Podstawy pomiaru temperatury	54
5.1.2. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	56
5.2. Część praktyczna	60
5.2.1. Określenie dokładności wskazań termometru cieczowego	60
5.2.2. Pomiar zmian temperatury wody w naczyniu termometrem cieczowym	62
5.3. Wzór sprawozdania	66
Literatura	67
6. Sprawdzanie wskazań termometrów w punktach przemian fazowych wody (Daniel Zbroński, Aleksandra Górecka-Zbrońska)	68
Cel ćwiczenia	68
6.1. Wprowadzenie teoretyczne	68
6.1.1. Stany skupienia i przemiany fazowe substancji	68
6.1.2. Proces przejścia fazowego ciało stałe-ciecz	69
6.1.3. Proces przejścia fazowego ciecz-para	71
6.1.4. Proces wrzenia cieczy	74
6.1.5. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	75
6.2. Część praktyczna	76
6.2.1. Wyznaczanie temperatury topnienia lodu	76
6.2.2. Wyznaczanie temperatury wrzenia wody	79
6.3. Wzór sprawozdania	83
Literatura	83
7. Wyznaczanie charakterystyki termometrycznej czujnika termoelektrycznego (Daniel Zbroński)	84
Cel ćwiczenia	84
7.1. Wprowadzenie teoretyczne	84
7.1.1. Czujniki termometrów termoelektrycznych	84
7.1.2. Metody określania wartości siły termoelektrycznej	88
7.1.3. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	90
7.2. Część praktyczna	93
7.3. Wzór sprawozdania	97
Literatura	97
8. Wyznaczanie charakterystyki termometrycznej czujnika rezystancyjnego (Daniel Zbroński)	98
Cel ćwiczenia	98
8.1. Wprowadzenie teoretyczne	98
8.1.1. Czujniki termometrów rezystancyjnych	98
8.1.2. Połączenie czujników rezystancyjnych	101
8.1.3. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	103

8.2. Część praktyczna	106
8.3. Wzór sprawozdania	110
Literatura	110
9. Wyznaczanie gęstości ciał stałych jednorodnych	
(Aleksandra Górecka-Zbrońska)	111
Cel ćwiczenia	111
9.1. Wprowadzenie teoretyczne	111
9.1.1. Pojęcia podstawowe	111
9.1.2. Wyznaczanie masy i objętości ciała stałego jednorodnego	112
9.1.3. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	114
9.2. Część praktyczna	116
9.3. Wzór sprawozdania	118
Literatura	119
10. Wyznaczanie gęstości nasypowej materiałów sypkich	
(Aleksandra Górecka-Zbrońska)	120
Cel ćwiczenia	120
10.1. Wprowadzenie teoretyczne	120
10.1.1. Pojęcia podstawowe	120
10.1.2. Wyznaczanie masy i objętości materiału sypkiego	121
10.1.3. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	122
10.2. Część praktyczna	124
10.3. Wzór sprawozdania	126
Literatura	127
11. Wyznaczanie gęstości wody sieciowej (Aleksandra Górecka-Zbrońska)	128
Cel ćwiczenia	128
11.1. Wprowadzenie teoretyczne	128
11.1.1. Pojęcia podstawowe	128
11.1.2. Wybrane metody pomiaru gęstości cieczy	130
11.1.3. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	133
11.2. Część praktyczna	136
11.3. Wzór sprawozdania	138
Literatura	138
12. Pomiar strumienia masy powietrza za pomocą rurki spiętrzającej Prandtla	
(Daniel Zbroński, Aleksandra Górecka-Zbrońska)	139
Cel ćwiczenia	139
12.1. Wprowadzenie teoretyczne	139
12.1.1. Pojęcia podstawowe	139
12.1.2. Rodzaje rurek spiętrzających	141
12.1.3. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	144
12.2. Część praktyczna	146
12.3. Wzór sprawozdania	151
Literatura	151

13. Pomiar strumienia masy powietrza za pomocą zwężki pomiarowej typu kryza (Aleksandra Górecka-Zbrońska)	152
Cel ćwiczenia	152
13.1. Wprowadzenie teoretyczne	152
13.1.1. Pojęcia podstawowe	152
13.1.2. Rodzaje zwęzek pomiarowych	152
13.1.3. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	154
13.2. Część praktyczna	158
13.3. Wzór sprawozdania	165
Literatura	166
14. Wyznaczanie średniej pojemności cieplnej właściwej powietrza (Daniel Zbroński)	167
Cel ćwiczenia	167
14.1. Wprowadzenie teoretyczne	167
14.1.1. Pojęcia podstawowe	167
14.1.2. Wyznaczanie średniej pojemności cieplnej właściwej	173
14.1.3. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	176
14.2. Część praktyczna	177
14.3. Wzór sprawozdania	184
Literatura	185
15. Pomiar wilgotności względnej powietrza za pomocą higrometru (Henryk Otwinowski, Aleksandra Górecka-Zbrońska)	186
Cel ćwiczenia	186
15.1. Wprowadzenie teoretyczne	186
15.1.1. Pojęcia podstawowe	186
15.1.2. Metody i przyrządy do pomiaru wilgotności powietrza	190
15.1.3. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	191
15.2. Część praktyczna	194
15.3. Wzór sprawozdania	199
Literatura	199
16. Pomiar wilgotności względnej powietrza za pomocą psychrometru (Daniel Zbroński)	201
Cel ćwiczenia	201
16.1. Wprowadzenie teoretyczne	201
16.1.1. Powietrze wilgotne	201
16.1.2. Wybrane przyrządy stosowane w ćwiczeniu	202
16.1.3. Określanie wilgotności względnej powietrza metodą psychrometryczną	205
16.2. Część praktyczna	209
16.3. Wzór sprawozdania	214
Literatura	214
Dodatki	215
Literatura	225

PRZEDMOWA

Termodynamika jest działem fizyki zajmującym się analizą zjawisk związanych z przemianami energii w dostatecznie dużych zbiorowiskach cząstek materii. W zależności od przyjętej skali opisu układu podlegającego przemianie, termodynamikę można podzielić na trzy działy: statystyczną, kwantową i fenomenologiczną. Termodynamika statystyczna uwzględnia cząsteczkową budowę materii, a opisując układ w sposób mikroskopowy, wykorzystuje znajomość dużej liczby parametrów charakteryzujących stan atomów i cząsteczek. Podobnie termodynamika kwantowa oparta jest na mikroskopowym opisie układu z uwzględnieniem dodatkowo praw mechaniki kwantowej. Termodynamika fenomenologiczna zajmuje się zaś opisem makroskopowym układu, traktując go jako całość, bez szczególnego wnikania w wewnętrzną jego strukturę.

Termodynamika techniczna ma na celu praktyczne zastosowanie termodynamiki w zagadnieniach technicznych. Jej początek związany był z wynalezieniem maszyny parowej i jej usprawnieniem przez Jamesa Watta (1763 r.), a dalszy jej rozwój wynikał z wynalezienia silników: spalinowego przez Nikolausa Augusta Otto (1876 r.) i wysokoprężnego przez Rudolfa Diesla (1893 r.), oraz maszyn wirnikowych, turbin gazowych i silników odrzutowych. Termodynamika techniczna pozwala opisywać i analizować nie tylko zjawiska zachodzące w maszynach i urządzeniach cieplnych (np. silnikach, turbinach, pompach, sprężarkach, wymiennikach, urządzeniach chłodniczych), ale i zjawiska związane z suszarnictwem i klimatyzacją. Wynikiem jej analiz jest ustalenie optymalnych warunków przetwarzania oraz wytwarzania energii, zapewniających minimalizację strat i maksymalizację sprawności realizowanych procesów termodynamicznych. Osiągnięcie wskazanych celów wymaga bardzo dobrej praktycznej znajomości podstaw miernictwa cieplnego w przemyśle, związanego z pomiarem szeregu wielkości fizycznych służących do określenia stanu i własności cieplnych czynnika termodynamicznego, niezbędnego w badaniach i eksploatacji maszyn oraz urządzeń cieplnych. Aktualnie najnowsze kierunki badań termodynamiki technicznej związane są z rozwojem urządzeń do bezpośredniego przetwarzania ciepła w energię elektryczną.

Prezentowany skrypt stanowi materiał pomocniczy do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu „Termodynamika techniczna”, prowadzonego na kierunkach: mechanika i budowa maszyn oraz inżynieria gospodarki obiegu zamkniętego na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej.

Celem zespołu było stworzenie przystępnego opracowania, które pozwoli studentom przygotować się do ćwiczeń i nabyć umiejętności praktycznego zastosowania wiedzy ogólnej zdobytej na wykładach. Należy podkreślić, że w pracy ograniczono się wyłącznie do zagadnień zawartych w sylabusie przedmiotu, zgodnie z programami studiów dla wskazanych kierunków kształcenia. Każdy z rozdziałów zawiera cel ćwiczenia, wprowadzenie teoretyczne, część praktyczną i wzór sprawozdania. Dodatkowo, w każdym rozdziale podano zalecaną literaturę i przykłady obliczeniowe, które z pewnością ułatwiają studentom samodzielne wykonanie obliczeń wymaganych w ćwiczeniach. Na końcu podręcznika umieszczono dodatki zawierające tabele, wykresy i nomogramy niezbędne w realizacji części praktycznej omawianych zagadnień.

Wyrażamy nadzieję, że tak przygotowany podręcznik z pewnością ułatwi studentom przyswojenie trudnych zagadnień z termodynamiki technicznej, a wskazane źródła literaturowe zachęcą ich do szerszego zainteresowania się ciekawym przedmiotem.

Zespół autorski