

# SPIS TREŚCI

ZESTAWIENIE NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANYCH SYMBOLI .....	9
<b>1.</b> WPROWADZENIE .....	13
<b>2.</b> PRZEGLĄD PODSTAWOWYCH POJĘĆ I PRAW .....	19
2.1. Podstawowe pojęcia i jednostki miary .....	19
2.1.1. Wielkości fizyczne i ich jednostki miary .....	19
2.1.2. Układy podstawowych jednostek miar .....	23
2.1.3. Międzynarodowy układ jednostek miar SI .....	24
2.1.4. Terminologia wielkości układu SI .....	27
2.1.5. Jednostki miar nienależące do układu SI, dopuszczone do stosowania .....	29
2.1.6. Rodzaje równań fizycznych .....	30
2.2. Podstawowe pojęcia i prawa fizyki gazów .....	33
2.2.1. Podstawowe pojęcia fizyki gazów .....	33
2.2.2. Podstawowe prawa fizyki gazów .....	44
2.2.3. Podstawowe pojęcia prawa zachowania energii .....	51
2.3. Ogólne sformułowania prawa zachowania energii .....	58
2.4. Zasady termodynamiki .....	59
2.4.1. Wprowadzenie .....	59
2.4.2. Pierwsza zasada termodynamiki .....	60
2.4.3. Zależności termodynamiczne dla gazów doskonałych .....	67
2.4.4. Druga zasada termodynamiki. Entropia .....	68
2.5. Potencjały termodynamiczne .....	76
2.6. Przemiany termodynamiczne .....	77
<b>3.</b> OGÓLNE RÓWNANIA PRZEPIYU GAZÓW .....	87
3.1. Podstawowe pojęcia i metody .....	87
3.1.1. Ogólne sformułowanie zagadnień mechaniki płynów .....	87
3.1.2. Wybór modelu płynu rzeczywistego.....	90
3.1.3. Parametry fizyczne płynu w punkcie. Element płynu .....	91
3.1.4. Ogólna metodyka badań dynamiki ruchu płynu .....	93
3.1.5. Strumień pola wektorowego przez powierzchnię kontrolną .....	94
3.1.6. Interpretacja fizyczna strumienia pola wektorowego .....	96
3.1.7. Metoda Eulera badania przepływu płynu .....	97
3.1.8. Pochodna substancjalna całki objętości płynnej .....	100

3.1.9.	Ujęcie dynamiczne i metody analizy. Procesy przenoszenia .....	106
3.2.	Równania zachowania masy – równania ciągłości .....	108
3.2.1.	Ogólne równanie ciągłości .....	108
3.2.2.	Równanie ciągłości dla ustalonego przepływu jednowymiarowego .....	109
3.2.3.	Równanie ciągłości dla nieustalonego przepływu jednowymiarowego .....	111
3.2.4.	Właściwości ustalonego strumienia gazu w rurze .....	113
3.3.	Równania zachowania pędu .....	114
3.3.1.	Wprowadzenie .....	114
3.3.2.	Sformułowanie zasady zachowania pędu dla płynu .....	115
3.3.3.	Równanie zachowania pędu dla przepływu jednowymiarowego .....	120
3.3.4.	Siła oddziaływania ustalonego strumienia płynu na zakrzywione ściany przewodu .....	122
3.3.5.	Postać różniczkowa równania zachowania pędu w rurze. Liniowe opory tarcia .....	125
3.3.6.	Prędkość rozprzestrzeniania się małych zaburzeń parametrów ośrodka .....	129
3.4.	Równania zachowania energii .....	137
3.4.1.	Ogólne równanie energii płynu – zasady zachowania energii .....	137
3.4.2.	Równanie energii dla ustalonego strumienia jednowymiarowego .....	142
3.4.3.	Wartości współczynnika energii kinetycznej – współczynnika Coriolisa .....	148
3.4.4.	Mechaniczna postać równania energii dla ustalonego przepływu gazu .....	150
3.4.5.	Związek równania ruchu dla przepływu w rurach z uogólnionym równaniem Bernoullego.....	153
3.4.6.	Przypadki szczególne równania Bernoullego dla gazów .....	153
3.4.7.	Warunki występowania przepływów adiabatycznych i izotermicznych .....	157
3.4.8.	Równanie Bernoullego dla adiabatycznego przepływu gazu .....	159
3.4.9.	Entropia ustalonego przepływu jednowymiarowego .....	161
<b>4.</b>	<b>PRZEPŁYWY JEDNOWYMIAROWE .....</b>	<b>163</b>
4.1.	Wprowadzenie .....	163
4.1.1.	Klasyfikacja przepływów i zagadnień obliczeniowych .....	163
4.1.2.	Rodzaje oddziaływań na strumień .....	164
4.1.3.	Klasyfikacja warunków przepływów .....	165
4.2.	Charakterystyczne prędkości strumienia adiabatycznego .....	166
4.2.1.	Wprowadzenie .....	166
4.2.2.	Parametry stagnacji .....	167
4.2.3.	Prędkość graniczna. Prędkość bezwymiarowa .....	171
4.2.4.	Prędkość krytyczna. Współczynnik prędkości .....	173
4.2.5.	Klasyfikacja adiabatycznych przepływów gazu .....	177
4.3.	Przepływy izentropowe – oddziaływanie geometryczne .....	179
4.3.1.	Techniczne zastosowania przepływów izentropowych .....	179
4.3.2.	Ogólne warunki izentropowości przepływu .....	181
4.3.3.	Związek między powierzchnią przekroju strumienia a prędkością .....	184

4.3.4.	Zmiany parametrów gazu w strumieniu izentropowym .....	187
4.3.5.	Stosunki parametrów strumienia dla dwóch dowolnych przekrojów .....	188
4.3.6.	Funkcje gazodynamiczne przepływu izentropowego .....	190
4.3.7.	Geometryczne oddziaływanie na strumień .....	201
4.3.8.	Właściwości strumienia w kanale zbieżnym lub rozbieżnym .....	206
4.3.9.	Strumień masy przepływu przez kanał.....	208
4.3.10.	Strumień masy przepływu przez dyszę Bendemanna .....	213
4.3.11.	Strumień przepływu przez kanał zbieżno-rozbieżny. Dysza de Lavalà .....	224
4.4.	Fale uderzeniowe .....	233
4.4.1.	Fala uderzeniowa i mechanizm jej powstawania .....	233
4.4.2.	Prosta fala uderzeniowa w dyszy .....	235
4.4.4.	Pomiar prędkości w pod- i naddźwiękowym strumieniu gazu .....	245
4.5.	Przepływ Fanno – przepływ adiabatyczny z uwzględnieniem tarcia .....	251
4.5.1.	Warunki przepływu Fanno i układ równań wyjściowych .....	251
4.5.2.	Zastosowanie liczby Macha. Funkcje przepływów adiabatycznych.....	253
4.5.3.	Zastosowanie współczynnika prędkości $\Lambda$ .....	261
4.6.	Przepływ Rayleigha – przepływ bez tarcia i z wymianą ciepła .....	271
4.6.1.	Warunki przepływu Rayleigha i układ równań wyjściowych .....	271
4.6.2.	Właściwości strumienia – dysza cieplna .....	274
4.6.3.	Kierunki zmian parametrów gazu w zależności od oddziaływania cieplnego .....	276
4.6.4.	Wartości parametrów gazu w strumieniu.....	278
4.6.5.	Wymiana ciepła pomiędzy strumieniem gazu a otoczeniem .....	283
4.7.	Linie Fanno i linie Rayleigha.....	288
4.7.1.	Określenie linii Fanno.....	288
4.7.2.	Określenie linii Rayleigha.....	299
4.7.3.	Graficzna analiza parametrów strumienia przed i za falą uderzeniową .....	303
4.7.4.	Wpływ liczby Macha na skok entropii fali uderzeniowej .....	305
4.7.5.	Wnioski i uwagi końcowe .....	308
4.8.	Izotermiczny przepływ przez długi rurociąg .....	308
4.8.1.	Warunki przepływu i układ równań wyjściowych .....	308
4.8.2.	Zmiany parametrów wzdłuż strumienia .....	310
4.8.3.	Wartości parametrów gazu w strumieniu – funkcje gazodynamiczne.....	313
4.8.4.	Zdolność przepustowa gazociągu .....	316
4.8.5.	Rozkład ciśnienia i prędkości wzdłuż gazociągu dla przepływu poddźwiękowego .....	320
4.9.	Uogólnione oddziaływania.....	322
4.9.1.	Określenie zagadnienia .....	322
4.9.2.	Równania podstawowe.....	323
4.9.3.	Macierzowy zapis układu równań różniczkowych .....	329
4.9.4.	Równania kierunków zmian parametrów strumienia w zależności od rodzajów oddziaływań .....	332
4.9.5.	Wnioski i uwagi końcowe .....	334

---

4.10. Warunki pomijania ściśliwości strumienia gazu .....	335
4.10.1. Przepływ izotermiczny .....	336
4.10.2. Przepływ adiabatyczny .....	340
4.10.3. Analiza wpływu nieuwzględniania ściśliwości .....	342
4.10.4. Przybliżone kryterium pomijania wpływu ściśliwości .....	345
<b>5. METODY OBLICZANIA PRZEPŁYWÓW GAZU W RUROCIĄGACH .....</b>	<b>347</b>
5.1. Wprowadzenie .....	347
5.2. Metody obliczania przepływów bez uwzględnienia ściśliwości .....	350
5.3. Metody obliczania przepływów z uwzględnieniem ściśliwości .....	351
5.3.1. Metoda obliczania przepływów z zastosowaniem stopnia ściśliwości .....	351
5.3.2. Metoda obliczania przepływów z zastosowaniem prędkości względnych .....	361
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>376</b>
<b>SKOROWIDZ RZECZOWY .....</b>	<b>382</b>