

SPIS TREŚCI

ZESTAWIENIE NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANYCH SYMBOLI	9
1. WPROWADZENIE	13
2. 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
3. OGÓLNE RÓWNANIA PRZEPŁYWU 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
4.	PRZEPŁYWY JEDNOWYMIAROWE	163
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 Laval'a	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 nadźwiękowym 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 λ	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
5. METODY OBLICZANIA PRZEPŁYWÓW GAZU W RUROCIĄGACH	347
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
BIBLIOGRAFIA	376
SKOROWIDZ RZECZOWY	382