



Spis treści

Od autora	12
Wykaz ważniejszych oznaczeń	13
Wprowadzenie do inżynierii procesowej	19
1. Wprowadzenie do mechaniki płynów	27
2. Właściwości fizyczne płynów	35
2.1. Parametry intensywne płynu	35
2.2. Zależność między podstawowymi parametrami płynu	37
2.3. Lepkość płynów	42
2.4. Napięcie powierzchniowe i włoskowatość	49
3. Statyka płynów	55
3.1. Równanie równowagi płynu	55
3.2. Równowaga bezwzględna płynu	57
3.2.1. Równowaga w potencjalnym polu sił masowych	57
3.2.2. Równowaga podczas braku sił masowych	59
3.2.3. Równowaga w polu sił ciężkości	59
3.2.4. Naczynia połączone	61
3.2.5. Zasada ciągu kominowego	65
3.2.6. Równowaga atmosfery ziemskiej	68

3.3. Parcie cieczy na powierzchnie płaskie.	70
3.4. Parcie cieczy na ciała zanurzone	77
3.4.1. Wypór hydrostatyczny.	77
3.4.2. Pływanie ciał	78
3.5. Równowaga względna cieczy	78
3.5.1. Ruch postępowy naczynia.	79
3.5.2. Ruch obrotowy.	81
3.5.3. Kształt swobodnej powierzchni cieczy	84
4. Równania różniczkowe bilansu masy, pędu i energii	87
4.1. Wprowadzenie	87
4.2. Różniczkowe równanie bilansu masy	88
4.3. Równanie różniczkowe bilansu pędu dla płynu jednorodnego	90
4.4. Różniczkowe równanie bilansu energii	97
5. Rozwiązania analityczne równań ruchu	99
5.1. Równanie Eulera.	99
5.2. Równanie Bernoulliego.	100
5.3. Przepływ laminarny	104
5.3.1. Przepływ laminarny między płaskimi płytami	104
5.3.2. Przepływ laminarny w przewodzie o przekroju kołowym	107
5.3.3. Laminarny spływ cieczy po ścianie pionowej.	111
6. Rozwiązania równań ruchu dla płynów rzeczywistych	115
6.1. Przepływy laminarne	115
6.1.1. Istota przepływu laminarnego	115
6.2. Krytyczna liczba Reynoldsa	117
6.3. Przepływy turbulentne	119
6.3.1. Istota przepływu turbulentnego	119
6.3.2. Rozkład prędkości płynu w nurze	121
6.3.3. Naprężenia Reynoldsa	123
6.4. Warstwa przyścienna.	127
6.4.1. Wprowadzenie	127
6.4.2. Laminarna i turbulentna warstwa przyścienna	129
6.4.3. Oderwanie warstwy przyściennej	133

6.5. Zasady modelowania przepływów płynów rzeczywistych	137
6.6. Podobieństwo zjawisk przepływowych	138
7. Równania bilansów masy, pędu i energii – ujęcie techniczne.	147
7.1. Model techniczny opisu przepływu turbulentnego	147
7.2. Równanie ciągłości strugi	148
7.3. Równanie bilansu pędu dla przepływu jednowymiarowego	150
7.4. Równanie bilansu energii płynu dla modelu przepływu turbulentnego	152
7.5. Równanie bilansu energii płynu dla płynów ściśliwych	156
8. Przepływy w przewodach zamkniętych	157
8.1. Liniowe straty ciśnienia	157
8.2. Straty ciśnienia wskutek oporów miejscowych	164
8.3. Przepływ przez przewody o nagłej zmianie przekroju	167
8.4. Przewody zbieżne i rozbieżne	169
8.5. Straty ciśnienia w przewodach	172
8.5.1. Przewód pojedynczy	172
8.5.2. Przewody połączone szeregowo	178
8.5.3. Przewody równoległe	179
8.5.4. Sieci przewodów	181
8.5.5. Dobór średnicy przewodu	184
8.6. Wyptyw cieczy ze zbiorników	184
8.6.1. Ustalony wyptyw cieczy ze zbiornika	184
8.6.2. Nieustalony wyptyw cieczy ze zbiornika	188
8.6.3. Przystawki	192
8.7. Problemy przepływowe w wentylacji	194
9. Współdziałanie przewodu i maszyn przepływowych	199
9.1. Pompy	200
9.1.1. Krótka charakterystyka pomp	200
9.1.2. Parametry układu pompowego	203
9.1.3. Parametry pracy pompy	208
9.1.4. Charakterystyki pomp	212
9.1.5. Klasyfikacja układów pompowych	215
9.2. Kawitacja	217

9.3. Wentylatory	221
9.3.1. Parametry charakteryzujące pracę wentylatorów	222
9.3.2. Charakterystyki wentylatora	224
9.3.3. Charakterystyka sieci	226
9.3.4. Współpraca wentylatora z siecią	227
9.3.5. Szeregowa współpraca wentylatorów	228
9.3.6. Równoległa współpraca wentylatorów	230
9.4. Sprężarki	231
9.5. Strumienice	233
10. Przepływy w kanałach	237
10.1. Informacje ogólne	237
10.2. Ruch jednostajny	241
10.3. Optymalny przekrój kanału	245
10.4. Ruch spokojny i rwący	248
10.5. Przelewy	254
11. Przepływ przez warstwy sypkie i porowate	263
11.1. Wprowadzenie	263
11.2. Prawo Darcy'ego	267
11.3. Rozwiązania równań filtracji	271
11.3.1. Przepływ równomierny	271
11.3.2. Dopływ wody gruntowej do rowu i drena	273
11.3.3. Studnie	276
11.3.4. Współdziałanie zespołu studzien	279
12. Opływ ciał	283
12.1. Siły działające na opływane ciało	283
12.2. Opór tarcia i opór ciśnienia	290
12.3. Opływ budynków	296
13. Przepływy płynów ściśliwych	299
13.1. Wprowadzenie	299
13.2. Prędkość dźwięku	300
13.3. Parametry całkowite	302

13.4. Wypływ gazu ściśliwego ze zbiornika	304
13.5. Dysza de Laval	310
13.6. Przepływy gazu ściśliwego w rurociągach	314
13.7. Przepływ cieczy ściśliwej	316
13.7.1. Prędkość fali ciśnieniowej	317
13.7.2. Proste i nieproste uderzenie hydrauliczne	322
13.7.3. Sposoby osłabienia uderzenia hydraulicznego	323
14. Czas przebywania płynu w zbiorniku	325
14.1. Wprowadzenie	325
14.2. Funkcje rozkładu czasu przebywania płynu w zbiorniku	326
14.3. Modele przepływów w zbiornikach rzeczywistych	336
15. Pomiary parametrów przepływu płynów jednofazowych	343
15.1. Pomiary ciśnień	343
15.2. Pomiary prędkości przepływu	347
15.2.1. Sondy ciśnieniowe	347
15.2.2. Anemometry	353
15.2.3. Termoanemometry	353
15.2.4. Anemometry laserowe	354
15.2.5. Urządzenia wizualizacyjne	356
15.3. Pomiary strumienia objętości lub strumienia masy płynu	356
15.3.1. Przepływomierze zwężkowe	357
15.3.2. Przepływomierze pływakowe	361
15.3.3. Przepływomierze różne	363
15.3.4. Pomiary przepływu cieczy w kanałach otwartych	364
Literatura	365