

Spis treści

Spis ważniejszych oznaczeń	7
Wstęp	11
1. Charakterystyka podstawowych pojęć	13
Literatura	16
2. Pomiary wielkości fizycznych	17
2.1. Obliczanie niepewności pomiarów bezpośrednich	18
2.2. Obliczanie niepewności pomiarów pośrednich	22
2.2.1. Obliczanie niepewności maksymalnych	26
2.2.2. Ocena niepewności pomiaru pośredniego na podstawie symulacji przypadkowych błędów pomiaru wielkości mierzonych bezpośrednio	28
2.2.3. Przykłady obliczania niepewności pomiarowych	29
2.3. Metoda najmniejszych kwadratów	33
2.3.1. Liniowe zagadnienie najmniejszych kwadratów	38
Literatura	43
3. Pomiar ciśnienia	45
3.1. Pomiar ciśnienia statycznego	45
3.2. Skala i jednostki ciśnienia	46
3.3. Pomiar ciśnienia płynu znajdującego się w ruchu	49
3.4. Przyrządy do pomiaru ciśnienia	52
3.4.1. Manometry cieczowe	53
3.4.1.1. Manometry dwururkowe (U-rurki)	53
3.4.1.2. Manometry jednorurkowe	58
3.4.1.3. Manometry z rurką pochyłą	62
3.4.1.4. Waga pierścieniowa	64
3.4.1.5. Manometr McLeoda	65
3.4.2. Manometry cieczowe tłokowe	67

3.4.3. Przykłady obliczania ciśnień mierzonych za pomocą manometrów cieczowych	68
3.4.4. Manometry sprężyste	74
3.4.4.1. Manometry z rurką sprężystą	75
3.4.4.2. Manometry membranowe	78
3.4.4.3. Manometry mieszkowe i kapsułkowe	88
3.4.5. Manometry piezoelektryczne	91
3.5. Pomiar małych różnic ciśnienia przy wysokim ciśnieniu absolutnym	94
3.6. Pomiary niskiego ciśnienia	97
3.7. Zakres zastosowań manometrów o różnej konstrukcji	99
3.8. Przyłączanie ciśnieniomierzy	100
3.8.1. Sposoby przyłączania manometrów lub przewodów impulsowych	102
3.8.2. Instalacje pomiarowe ciśnienia	104
Literatura	110
4. Pomiar prędkości przepływu płynu	112
4.1. Rurki spiętrzające	113
4.1.1. Niedokładności pomiaru prędkości płynu za pomocą rurek spiętrzających	122
4.1.2. Przykłady	135
4.2. Termoanemometry	140
4.3. Anemometry laserowe bazujące na zjawisku Dopplera	152
4.4. Anemometry skrzydełkowe	156
Literatura	156
5. Pomiary strumienia objętości płynu przez całkowanie rozkładu prędkości	160
5.1. Podstawy teoretyczne	160
5.2. Strumień objętości płynu w przewodach o przekroju kołowym i prostokątnym	163
5.2.1. Profil prędkości zadany w postaci funkcji	163
5.2.2. Prędkość średnia obliczana na podstawie pomiaru prędkości w wybranych punktach	166
5.3. Sondy uśredniające	173
Literatura	180
6. Pomiar strumienia masy i strumienia objętości płynu za pomocą zwęzek pomiarowych	182
6.1. Pomiar strumienia objętości i masy za pomocą kryz	189
6.1.1. Współczynnik przepływu C i liczba ekspansji ϵ_1	191

6.2. Pomiar strumienia objętości i masy za pomocą dysz	195
6.3. Pomiar strumienia objętości i masy za pomocą zwężek Venturiego	200
6.4. Dysze dźwiękowe (soniczne)	202
6.5. Wybór rodzaju zwężki pomiarowej	203
6.6. Połączenie zwężki z przetwornikiem pomiarowym	208
6.7. Przykład wyznaczania strumienia objętości płynu za pomocą zwężki pomiarowej	211
Literatura	213
7. Przepływomierze	215
7.1. Przepływomierze objętościowe	216
7.2. Rotametry	219
7.3. Przepływomierze turbinkowe	223
7.4. Przepływomierze wirowe	227
7.5. Przepływomierze kolanowe	232
7.6. Przepływomierze tarczowe	235
7.7. Przepływomierze laminarne	238
7.8. Przepływomierze elektromagnetyczne	242
7.9. Przepływomierze ultradźwiękowe	247
7.9.1. Przepływomierze ultradźwiękowe, których zasada działania opiera się na pomiarze czasu przejścia sygnału ultradźwiękowego	248
7.9.2. Przepływomierze ultradźwiękowe, których zasada działania opiera się na zjawisku Dopplera	254
7.9.3. Zakres zastosowań i dokładność przepływomierzy ultradźwiękowych	255
7.10. Pomiar strumienia masy za pomocą mierników Coriolisa	257
7.11. Pomiar strumienia masy za pomocą przepływomierzy termicznych	264
Literatura	266
ZAŁĄCZNIKI	268
Załącznik Z1. Zasady obliczania niepewności pomiarów i wyników obliczeń w badaniach eksperymentalnych według ASME	269
Literatura	272
Załącznik Z2. Dwumian Newtona	274
Literatura	275
Załącznik Z3. Wyprowadzenie wzoru na liczbę ekspansji ϵ dla rurki Prandtla	276
Literatura	278

Załącznik Z4.	Poprzeczny opływ cylindra	279
	Z4.1. Zjawiska przepływowe	279
	Z4.2. Wymiana ciepła	285
	Literatura	288
Załącznik Z5.	Równanie ruchu (bilansu pędu)	290
	Z5.1. Równanie ciągłości	290
	Z5.2. Równanie bilansu pędu (równanie ruchu)	291
	Literatura	295
Załącznik Z6.	Wyprowadzenie wzoru na liczbę ekspansji ϵ_1 dla dysz i zwężek Venturiego	296
	Literatura	299
Załącznik Z7.	Przepływ strumienia masy przez dyszę zbieżną (dysze dźwiękowe)	301