

SPIS TREŚCI

Spis ważniejszych oznaczeń	11
Wstęp	17
1. Wiadomości ogólne o metrologii przepływów	21
1.1. Wielkości fizyczne występujące w metrologii przepływów, nazewnictwo.....	21
1.2. Podstawowe równania	22
1.3. Charakterystyczne właściwości przepływomierzy odróżniające je od innych przyrządów.....	24
1.3.1. Charakterystyczne wartości strumienia	24
1.3.2. Dokładność pomiaru.....	25
1.4. Najważniejsze wielkości wpływające na charakterystykę przepływomierzy.....	26
1.4.1. Wpływ gęstości.....	27
1.4.2. Wpływ lepkości	29
1.4.3. Wpływ ciśnienia i temperatury.....	30
1.4.4. Wpływ kształtek i armatury.....	31
1.5. Straty ciśnienia	35
1.6. Przepływomierz jako element instalacji technologicznej.....	37
2. Przepływomierze zwężkowe.....	40
2.1. Teoretyczne podstawy pomiaru	41
2.2. Normalizacja zwęzek.....	51
2.2.1. Znormalizowana kryza pomiarowa	52
2.2.2. Inne zwężki znormalizowane	55
2.2.3. Porównanie znormalizowanych zwęzek pod względem metrologicznym i eksploatacyjnym.....	56
2.2.4. Obliczenia zwęzek znormalizowanych.....	59
2.2.5. Pomiary w warunkach wykraczających poza warunki stosowania znormalizowanych zwęzek.....	60
2.2.5.1. Nieostra krawędź kryzy	60
2.2.5.2. Nadmierna chropowatość rurociągu.....	61
2.2.5.3. Kryzy w rurociągach poniżej 50 mm	63
2.3. Specjalne zwężki pomiarowe.....	64
2.4. Dysze o przepływie krytycznym.....	65
2.5. Inne przepływomierze wykorzystujące generowanie różnicy ciśnień.....	68
2.5.1. Przepływomierze z krzywizną	68
2.5.2. Przepływomierze kapilarne	70
2.5.3. Przepływomierze dynamometryczne.....	71

3. Rotametry	73
3.1. Charakterystyka ogólna	73
3.2. Zasada działania rotametrów	73
3.3. Wpływ parametrów płynu na wskazania rotametru	77
3.4. Budowa rotametrów i rotametrycznych przetworników przepływu.....	79
3.5. Inne rozwiązania przepływomierzy z grawitacyjną siłą zwrotną	81
3.5.1. Przepływomierze pływakowe	81
3.5.2. Przepływomierze klapowe	82
4. Przepływomierze turbinowe	84
4.1. Charakterystyka ogólna	84
4.2. Teoretyczne podstawy działania przepływomierzy turbinowych.....	85
4.3. Analiza charakterystyki przepływomierzy turbinowych	88
4.4. Problemy łożyskowania turbin i wirników	91
4.5. Niekonwencjonalne rozwiązania przepływomierzy turbinowych.....	93
4.6. Przetwarzanie sygnału przepływomierzy turbinowych	93
4.7. Korekcja wpływu ciśnienia i temperatury dla gazomierzy turbinowych	95
5. Przepływomierze komorowe	97
5.1. Charakterystyka ogólna	97
5.2. Zasada pomiaru.....	97
5.3. Błędy przepływomierzy komorowych.....	100
5.4. Przetwarzanie sygnału przepływomierzy komorowych	102
6. Przepływomierze oscylacyjne	103
6.1. Przepływomierze wirowe	103
6.1.1. Wprowadzenie teoretyczne.....	103
6.1.2. Generatory wirów	106
6.1.3. Detekcja wirów	106
6.1.4. Istotne ograniczenia stosowania przepływomierzy wirowych	109
6.2. Przepływomierze z wirem precesyjnym	110
6.3. Przepływomierze wykorzystujące efekt Coandy	111
6.4. Mechaniczne przepływomierze oscylacyjne	112
6.4.1. Charakterystyka ogólna	112
6.4.2. Zasada działania, teoretyczne podstawy pomiaru	112
6.4.3. Optymalizacja konstrukcji przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym	114
6.4.4. Korekcja wpływu gęstości na wskazania przepływomierzy z oscylatorem mechanicznym	114
7. Przepływomierze ultradźwiękowe	116
7.1. Charakterystyka ogólna	116
7.2. Zasada działania, podstawy teoretyczne pomiaru	117
7.3. Budowa przepływomierzy ultradźwiękowych.....	118
7.4. Korekcja wpływu ciśnienia i temperatury dla gazomierzy ultradźwiękowych	120
7.5. Domowe gazomierze ultradźwiękowe.....	121
8. Przepływomierze elektromagnetyczne	122
8.1. Charakterystyka ogólna	122
8.2. Zasada pomiaru.....	122
8.3. Istotne szczegóły budowy przepływomierzy elektromagnetycznych.....	123

9. Przepływomierze Coriolisa	126
9.1. Charakterystyka ogólna.....	126
9.2. Podstawy teoretyczne działania przepływomierzy Coriolisa.....	127
9.3. Pomiar innych parametrów za pomocą przepływomierzy Coriolisa	132
9.4. Niepewności pomiaru	133
9.5. Wpływ parametrów konstrukcyjnych przepływomierza na jego właściwości	133
9.6. Instalacja przepływomierzy Coriolisa.....	134
10. Przepływomierze termiczne	136
10.1. Właściwości przepływomierzy termicznych	136
10.2. Przepływomierz całkowitego strumienia	137
10.3. Bocznikowe przepływomierze termiczne	138
10.4. Przepływomierze termiczne do mikroprzepływów.....	138
10.5. Przepływomierze termiczne do dużych strumieni masy i średnic rurociągów	139
10.6. Przeliczenie charakterystyk na gazy inne, niż stosowane podczas wzorcowania.....	141
11. Pomiary prędkości przepływu	143
11.1. Znaczenie i zastosowania pomiarów prędkości przepływu	143
11.2. Anemometry spiętrzające.....	143
11.3. Termoanemometry	145
11.4. Anemometry laserowe	148
11.5. Pomiary prędkości metodą obrazowania cząstek (PIV)	150
11.6. Anemometr czasowy	150
11.7. Anemometry wykorzystujące zasady pomiarowe stosowane w strumieniomierzach ..	151
11.7.1. Zastosowanie zasady działania przepływomierzy turbinowych.....	151
11.7.2. Zastosowanie zasady działania przepływomierzy wirowych	152
11.7.3. Zastosowanie zasady działania przepływomierzy ultradźwiękowych	152
11.7.4. Zastosowanie zasady działania przepływomierzy termicznych	153
11.8. Przepływomierze próbkujące.....	153
11.8.1. Zastosowania przepływomierzy próbkujących.....	153
11.8.2. Równania opisujące rozkład prędkości w rurociągu	154
11.8.3. Przepływomierze piętzące jako przepływomierze próbkujące	156
11.8.4. Inne zasady pomiaru stosowane w przepływomierzach próbkujących	158
12. Pomiary parametrów przepływu mieszanin wielofazowych	160
12.1. Wstęp. Podstawowe parametry przepływów wielofazowych.....	160
12.2. Struktury przepływów wielofazowych i ich identyfikacja.....	161
12.2.1. Struktury przepływów wielofazowych.....	161
12.2.2. Identyfikacja struktury przepływu wielofazowego.....	162
12.2.2.1. Mapy struktur przepływów wielofazowych	162
12.2.2.2. Tomografia procesowa.....	164
12.2.2.3. Inne metody identyfikacji	165
12.3. Wybrane metody pomiarów przepływów wielofazowych.....	167
12.3.1. Pomiar mieszaniny pył-gaz.....	167
12.3.2. Pomiar mieszaniny ciecz-gaz.....	168
12.3.2.1. Separator jako podstawowe urządzenie do rozliczeń	169
12.3.2.2. Pomiar przepływu mieszaniny ropy, wody i gazu.....	170
12.3.2.3. Pomiar mieszaniny ropy i gazu.....	173
12.3.2.4. Pomiar gazu mokrego	174
12.3.2.5. Pomiar zapowietrzonej ciekłej siarki – studium przypadku	174

13. Pomiary niustalowanego strumienia płynu	177
13.1. Zagadnienia ogólne	177
13.2. Przyczyny pulsacji przepływu i metody ich identyfikacji	178
13.3. Metody identyfikacji pulsacji przepływu	180
13.4. Wpływ pulsacji na przepływomierze zwężkowe	181
13.4.1. Błąd związany z pierwiastkowaniem sygnału	182
13.4.2. Wpływ pochodnej lokalnej prędkości	183
13.4.3. Zmiana współczynnika przepływu	184
13.4.4. Przepływomierze zwężkowe z szybkim przetwornikiem ciśnienia różnicowego	184
13.4.5. Przepływomierze zwężkowe z zastosowaniem przetworników ciśnienia różnicowego o dużej stałej czasowej	186
13.4.6. Układy tłumiące dla gazu	187
13.4.7. Dwukomorowy tłumik pulsacji przepływu gazu z rurą dławiącą	189
13.4.8. Tłumiki pulsacji dla cieczy	190
13.5. Wpływ pulsacji na przepływomierze turbinowe	191
13.5.1. Próg między przepływem ustalonym a pulsującym	192
13.5.2. Ogólna zależność między błędem pomiaru a parametrami pulsacji	193
13.5.3. Określenie parametru odpowiedzi dynamicznej b przepływomierza turbinowego	194
13.5.4. Obliczeniowe wyznaczenie parametru odpowiedzi dynamicznej	195
13.5.5. Moment bezwładności turbiny	196
13.5.6. Oszacowanie współczynników korekcyjnych i niepewności pomiaru spowodowanych pulsacjami	196
13.5.7. Przepływ przerywany	198
13.6. Wpływ pulsacji na przepływomierze oscylacyjne	199
13.6.1. Przepływomierze wirowe	199
13.6.2. Przepływomierze z oscylatorem mechanicznym	201
13.7. Wpływ stanów niustalonych na rotametry	203
14. Pomiary przepływów w kanałach otwartych i przewodach niecałkowicie wypełnionych	204
14.1. Wstęp	204
14.2. Przelewy	204
14.3. Koryta pomiarowe	206
14.4. Pomiary parametrów przepływu w ciekach wodnych	207
14.5. Elektromagnetyczne pomiary w przewodach niewypełnionych całkowicie i kanałach otwartych	208
14.6. Metody korelacyjne	209
14.7. Metody znacznikowe	210
15. Wzorcowanie przepływomierzy	211
15.1. Wstęp	211
15.2. Legalizacja a wzorcowanie	212
15.3. Wzorcowanie przepływomierzy do cieczy	215
15.3.1. Wzorcowanie wodą	215
15.3.2. Wzorcowanie cieczami innymi niż woda	218
15.4. Wzorcowanie przepływomierzy do gazu	220
15.4.1. Stanowiska dzwonowe	220
15.4.2. Stanowiska niskociśnieniowe z gazomierzami pośredniczącymi	223
15.4.3. Stanowiska wysokociśnieniowe	224

15.5.	Zapewnienie spójności pomiarowej podczas wzorcowania przepływomierzy.....	227
15.5.1.	Zapewnienie spójności pomiarowej dla cieczy	228
15.5.2.	Zapewnienie spójności pomiarowej dla gazu przy niskim ciśnieniu.....	228
15.5.3.	Zapewnienie spójności pomiarowej dla gazu przy wysokim ciśnieniu.....	230
15.5.3.1.	Wzorce pierwotne.....	230
15.5.3.2.	Przeniesienie wyników wzorcowań na wzorce robocze.....	233
15.6.	Zastosowanie podwójnego chronometrażu podczas wzorcowania przepływomierzy z wyjściem impulsowym.....	239
15.7.	Wzorcowanie anemometrów.....	242
16.	Stacje pomiarowe.....	245
16.1.	Przelicznik jako element stacji pomiarowej.....	245
16.2.	Stacje pomiarowe gazu	247
16.3.	Stacje pomiarowe paliw ciekłych	249
16.4.	Stacje pomiarowe ropy naftowej.....	250
16.5.	Pomiary wielkości wpływających.....	250
16.6.	Przeliczniki.....	251
17.	Analiza niepewności w metrologii przepływów	253
17.1.	Uwagi ogólne	253
17.2.	Obliczenie niepewności standardowych	254
17.3.	Obliczenie współczynników wrażliwości	256
17.4.	Obliczanie niepewności złożonej i rozszerzonej	257
17.5.	Przykłady szacowania niepewności w metrologii przepływów.....	259
17.5.1.	Oszacowanie niepewności wartości poprawnej objętości podczas wzorcowania gazomierza	259
17.5.2.	Oszacowanie niepewności pomiaru strumienia masy za pomocą zwężki.....	261
17.5.3.	Oszacowanie niepewności pomiaru strumienia masy za pomocą dyszy krytycznej.....	262
17.5.4.	Oszacowanie niepewności pomiaru objętości gazu w warunkach normalnych.....	262
18.	Zastosowania numerycznej mechaniki płynów w metrologii przepływów	263
	Bibliografia	267
	Załącznik. Podstawowe właściwości najczęściej stosowanych przepływomierzy	277
	Skorowidz rzeczowy	279
	Streszczenie.....	282
	Summary	283