

SPIS TREŚCI:

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ	8
1. WSTĘP	11
2. PODSTAWOWE WIADOMOŚCI O PŁYNACH	13
2.1. Płyny jako ośrodki ciągłe	13
2.2. Płyny rzeczywiste i doskonałe	13
2.3. Układy jednostek miar	14
2.4. Parametry płynów	15
2.5. Własności fizyczne płynów	18
3. PRZEPŁYWY PŁYNÓW	27
3.1. Siły działające w płynach	27
3.2. Związek między naprężeniami i odkształceniami. Dynamiczny i kinematyczny współczynnik lepkości	29
3.3. Płyny newtonowskie i nienewtonowskie	31
3.4. Podobieństwo przepływów	38
3.5. Równanie ruchu płynów. Profil prędkości w przepływach przez rury	41
3.6. Zmiany energii płynu wzdłuż drogi przepływu	44
3.7. Równanie Bernoulliego dla płynu rzeczywistego. Opory liniowe i miejscowe	46
3.8. Zastosowanie równania Bernoulliego i równania ciągłości w pomiarze strumienia płynu	51
3.9. Warstwa przyścienna i opływy ciał	54
4. NIEPEWNOŚCI WYNIKÓW POMIARÓW	61
4.1. Klasyfikacja błędów pomiarów	61
4.2. Błąd pomiaru jako zmienna losowa	63
4.3. Błąd i niepewność pomiarów pośrednich	67
4.4. Błąd pomiaru odniesiony do zakresu oraz do mierzonej wartości	72
4.5. Własności metrologiczne przyrządów pomiarowych	73
4.5.1. Klasa dokładności	74
4.5.2. Działka elementarna	74

4.5.3. Zakres wskazań	74
4.5.4. Zakres pomiarowy	75
4.5.5. Czułość przyrządu	75
5. METODY POMIARÓW PRZEPŁYWÓW PŁYNÓW	77
5.1. Podstawowe pojęcia metrologii przepływów	77
5.2. Podział przepływomierzy	78
5.3. Własności metrologiczne i eksploatacyjne przepływomie- rzy	79
5.3.1. Przepływomierze spiętrzające przepływ	79
5.3.1.1. Przepływomierze zwężkowe	80
5.3.1.2. Przepływomierze z rurką uśredniającą ciśnienie dynamiczne	87
5.3.1.3. Sondy piętzące, mikrozwężki	93
5.3.1.4. Przepływomierze z dyszami wykorzystującymi zjawisko przepływu krytycznego	99
5.3.1.5. Przepływomierze dynamometryczne	102
5.3.1.6. Przepływomierze kapilarne	104
5.3.2. Przepływomierze pływakowe (rotametry)	105
5.3.3. Przepływomierze elektromagnetyczne	111
5.3.4. Przepływomierze ultradźwiękowe	115
5.3.5. Przepływomierze komorowe	120
5.3.6. Przepływomierze masowe (Coriolisa)	126
5.3.7. Przepływomierze cieplne	130
5.3.8. Przepływomierze wirowe (Vortex)	134
5.3.9. Przepływomierze tachometryczne (turbino- we)	139
5.3.10. Przepływomierze korelacyjne	144
5.3.11. Przepływomierze laserowe	146
5.3.12. Pomiary przepływu cieczy w kanałach otwartych	149
5.3.12.1. Przelewy miernicze	149
5.3.12.2. Zwężkowe kanały miernicze	150
5.3.12.3. Metoda elektromagnetyczna	151
5.3.12.4. Metoda korelacyjna	152
5.3.13. Pomiar przepływu metodą całkowania bryły prędkości	153
5.3.13.1. Podstawy teoretyczne	153
5.3.13.2. Dokładność metody	156
5.3.13.3. Praktyczna realizacja pomiaru	157
5.3.14. Pomiary przepływu energii cieplnej	158

5.3.14.1. Woda jako nośnik ciepła-----	158
5.3.14.2. Para wodna jako nośnik ciepła -----	159
5.3.14.3. Przykłady układów pomiarowych strumienia ciepła w wodzie i parze wodnej -----	161
5.4. Porównanie własności metrologicznych i eksploatacyj- nych przepływomierzy -----	165
6. WŁASNOŚCI METROLOGICZNE PRZEPŁYWOMIERZY PRZY NIEDOTRZYMANIU WYMAGANYCH PROSTO- OSIOWYCH ODCINKÓW RUROCIĄGU-----	175
6.1. Prostownice strugi -----	183
7. WŁASNOŚCI METROLOGICZNE PRZEPŁYWOMIERZY W ZASTOSOWANIU DO POMIARÓW PRZEPŁYWÓW CIECZY O DUŻEJ LEPKOŚCI -----	185
7.1. Przepływomierze zalecane do pomiarów cieczy o dużej lepkości -----	185
7.2. Wpływ lepkości płynu na własności przepływomierzy -----	187
7.3. Przykłady przepływomierzy do pomiarów przepływów płynów o dużej lepkości -----	193
7.3.1. Kryza wręgowa -----	193
7.3.2. Przepływomierz komorowy owalnokołowy -----	194
7.3.3. Przepływomierz masowy -----	196
8. WŁASNOŚCI METROLOGICZNE PRZEPŁYWOMIERZY W ZASTOSOWANIU DO POMIARÓW PRZEPŁYWÓW CIECZY NIENEWTONOWSKICH -----	197
8.1. Przepływomierze wskazane do pomiarów przepływów cieczy nienewtonowskich -----	198
8.2. Ocena wpływu parametrów reologicznych płynów nienewto- nowskich na charakterystyki wybranych rodzajów przepły- womierzy -----	200
8.2.1. Przepływomierze zwężkowe -----	200
8.2.2. Przepływomierze ultradźwiękowe -----	204
8.2.3. Przepływomierze turbinowe -----	206
8.2.4. Przepływomierze cieplne -----	207
9. POMIAR STRUMIENIA PŁYNU W STANACH NIEUSTA- LONYCH -----	209
9.1. Przyczyny powstawania dodatkowych błędów pomiaru -----	209

9.2. Własności metrologiczne wybranych rodzajów przepływomierzy przy pomiarze przepływów szybkozmiennych-----	211
9.2.1. Przepływomierz zwężkowy-----	211
9.2.2. Przepływomierz turbinowy-----	213
9.2.3. Przepływomierz ultradźwiękowy-----	215
9.3. Pomiar średniej wartości strumienia masy przepływu pulsującego-----	219
9.3.1. Przepływomierz zwężkowy-----	219
9.3.2. Przepływomierz turbinowy-----	225
9.3.3. Przepływomierz pływakowy-----	226
9.3.4. Inne przepływomierze-----	226
9.3.5. Tłumienie pulsacji-----	227
10. POMIARY PRZEPŁYWÓW CZYNNIKÓW DWUFAZOWYCH-----	231
10.1. Przyływ czynnika dwufazowego-----	231
10.2. Metody pomiaru koncentracji fazy unoszonej-----	232
10.2.1. Metoda grawimetryczna-----	233
10.2.2. Metoda radiometryczna-----	234
10.2.3. Metoda radiometryczna „in situ”-----	235
10.2.4. Metoda elektromagnetyczna ciągłego pomiaru rozpyłu pyłu węglowego w kotłach opalanych węglem-----	236
10.2.5. Metoda fotometryczna-----	237
10.2.6. Metoda ultradźwiękowa-----	238
10.3. Metody pomiaru prędkości przepływu mieszaniny dwufazowej-----	239
10.3.1. Metoda elektromagnetyczna-----	239
10.3.2. Metoda ultradźwiękowa-----	239
10.3.3. Metoda korelacyjna-----	239
10.3.4. Elementy spiętrzające-----	240
10.4. Własności metrologiczne zwęzek przy pomiarach przepływów dwufazowych-----	241
10.4.1. Pomiary zwężkami czynników dwufazowych gaz – ciało stałe-----	241
10.4.2. Pomiary zwężkami czynników dwufazowych gaz – krople cieczy (para mokra) i ciecz-pęcherze gazu-----	242

11. BADANIA I KALIBRACJA PRZEPŁYWOMIERZY	247
11.1. Metody wagowe	247
11.2. Metody objętościowe	249
11.3. Metoda wzorca wtórnego	251
11.4. Zagadnienia związane z wzorcowaniem przepływomierzy	251
12. DOBÓR PRZEPŁYWOMIERZY DLA CIECZY I GAZÓW STOSOWANYCH W PRZEMYŚLE	255
13. LITERATURA	261
14. SŁOWNIK TECHNICZNY ANG.-POL. (mechanika płynów)	273
STRESZCZENIA	281