

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie

Laboratorium mechaniki płynów

Dariusz Mika
Jerzy Józwik
Arkadiusz Tofil

Chełm 2015

Recenzenci

PROF. DR HAB. INŻ. MILAN SAGA
UNIVERSITY OF ZYLINA, SLOVAK REPUBLIC

DR HAB. INŻ. RAFAŁ RUSINEK, PROF. PL
POLITECHNIKA LUBELSKA, POLSKA

DR INŻ. SYLWESTER SAMBORSKI
POLITECHNIKA LUBELSKA, POLSKA

Redaktor techniczny

DR BEATA FAŁDA

Projekt okładki

DR INŻ. KRZYSZTOF DZIEDZIC

PAŃSTWOWA WYŻSZA SZKOŁA ZAWODOWA W CHELMIE
UL. POCZTOWA 54, 22-100 CHEŁM, POLSKA
WWW.PWSZ.CHELM.PL

ISBN

978-83-61149-98-9

Spis treści

Zestawienie ważniejszych oznaczeń	7
Przedmowa	11
1 Wybrane zagadnienia analizy niepewności pomiaru	13
1.1 Niepewność a błąd pomiaru	13
1.2 Niepewność pomiaru	16
1.3 Probabilistyczne podstawy analizy niepewności	18
1.4 Wyznaczanie niepewności rozszerzonej pojedynczego pomiaru	21
1.5 Estymacja parametrów rozkładu	24
1.6 Wyznaczanie niepewności standardowej typu A	24
1.7 Wyznaczanie niepewności standardowej typu B	29
1.8 Określenie złożonej niepewności standardowej	32
1.9 Niepewność rozszerzona	34
1.10 Porównanie wyników dwóch pomiarów	35
1.11 Zapis niepewności pomiaru	35
1.12 Graficzna reprezentacja wyników pomiaru	36
1.13 Przykłady wyznaczania niepewności pomiaru	39
2 Ciśnienie w strumieniu powietrza	45
2.1 Całka Bernoulliego równania Eulera	45
2.2 Równanie Bernoulliego dla płynów doskonałych	46
2.3 Równanie Bernoulliego dla płynów rzeczywistych	47
2.4 Część praktyczna	48
3 Powierzchnia cieczy wirującej	53
3.1 Warunki równowagi cieczy	53
3.2 Równania równowagi Eulera	54
3.3 Podstawowe równanie hydrostatyki	54

3.4	Powierzchnia ekwipotencjalna w naczyniu wirującym	55
3.5	Równanie powierzchni swobodnej cieczy wirującej w przypadku dwuwymiarowym	56
3.6	Część praktyczna	57
4	Pomiary lepkości dynamicznej płynów wiskozymetrem obrotowym	63
4.1	Pojęcie lepkości płynu	63
4.2	Ciecz doskonała i rzeczywista – podział płynów	64
4.3	Hydrodynamiczne prawo Newtona	65
4.4	Współczynniki lepkości płynu	66
4.5	Płyny newtonowskie	67
4.6	Płyny nienewtonowskie	68
4.6.1	Płyny zagęszczane i rozrzedzane ścinaniem. Model Oswalda-de Waele	69
4.6.2	Płyny plastycznolepkie. Model Bingham i Herschela-Bulkley’a	70
4.7	Pomiary lepkości płynu	71
4.8	Część praktyczna	72
5	Wyznaczanie charakterystyki kierunkowej rurki Prandtla	77
5.1	Rurki Pitota	77
5.2	Rurka Prandtla	81
5.3	Charakterystyka kierunkowa rurki Prandtla	83
5.4	Część praktyczna	85
6	Opływ profilu kołowego	89
6.1	Opływ ciała stałego płynem doskonałym	89
6.2	Współczynnik ciśnienia	90
6.3	Opływ ciała stałego płynem rzeczywistym	90
6.4	Współczynniki oporu	94
6.5	Część praktyczna	94
7	Pomiar siły oporu aerodynamicznego metodą Jonesa	103
7.1	Siły aerodynamiczne	103
7.2	Współczynnik oporu i siły nośnej	104
7.3	Pomiar siły oporu aerodynamicznego metodą Jonesa	105
7.4	Część praktyczna	107

8	Pomiary prędkości średniej w kanale	113
8.1	Pomiary prędkości przepływu	113
8.2	Wyznaczanie prędkości średniej metodą Nikuradse . . .	113
8.3	Wyznaczanie prędkości średniej metodą równych pól . .	114
8.4	Część praktyczna	118
9	Pomiary strumieni przepływu płynów rzeczywistych	121
9.1	Pojęcie strumienia płynu	121
9.2	Pomiary strumienia masy i objętości płynu metodą zwężkową	123
9.2.1	Kryza ISA	125
9.2.2	Dysza ISA	125
9.2.3	Klasyczna zwężka Venturiego	126
9.3	Metody pomiaru strumienia płynu poprzez pomiar prędkości średniej w rurociągu	127
9.4	Część praktyczna	128
10	Badanie przepływu w warstwie przyściennej	133
10.1	Pojęcie warstwy przyściennej	133
10.2	Równania przepływu w laminarnej warstwie przyściennej	135
10.3	Równania Prandtla	135
10.4	Zależność całkowita Karmana	137
10.5	Charakter przepływu w warstwie przyściennej	137
10.6	Część praktyczna	139
Dodatek A		
	Wyznaczanie sił powstających przy opływie ciał stałych na podstawie rozkładu prędkości w śladzie aerodynamicznym	145
Dodatek B		
	Wyprowadzenie zależności całkowitej Karmana	149
	Spis literatury	153
	Załączniki	157