

Spis treści

Wykaz oznaczeń	7
1 Wprowadzenie	11
2 Zjawiska elektrokinetyczne	15
2.1 Budowa warstwy podwójnej	15
2.2 Ruch cieczy w polu elektrycznym	22
2.2.1 Elektroosmoza	23
2.2.1 Elektroforeza	27
3 Równania elektrohydrodynamiki	29
3.1 Równania bilansu prądów	29
3.2 Mechanizmy transportu ładunków	32
3.2.1 Dyfuzja jonów	32
3.2.2 Turbulentna dyfuzja jonów	34
3.2.3 Dyfuzja cząstek koloidalnych	37
3.2.4 Prąd konwekcyjny	39
3.2.5 Przewodnictwo jonów	40
3.3 Równania przepływu	41
3.3.1 Równania Naviera-Stokesa	42
3.3.2 Rozkład prędkości w ruchu laminarnym	42
3.3.3 Przepływ przejściowy – burzliwy	44
3.3.4 Rozkład prędkości w ruchu turbulentnym	44
3.3.5 Współczynnik tarcia	46
3.3.6 Rozkład prędkości w warstwie przyściennej w ruchu turbulentnym	47
3.3.7 Przyścienne naprężenia ścinające	50
3.3.8 Wyznaczanie grubości warstwy przyściennej .	51
3.3.9 Uśrednione równania Naviera-Stokesa	52
3.3.10 Model k- ϵ turbulencji	53

4 Modele analityczne elektryzacji strumieniowej	55
4.1. Rozkład gęstości prądu w stanie ustalonym przy przepływie laminarnym cieczy	56
4.1.1 Rozkład gęstości ładunku w warunkach przepływu laminarnego	56
4.1.2 Warunki brzegowe	58
4.1.3 Gęstość prądu konwekcyjnego przy przepływie laminarnym	60
4.1.4 Prąd konwekcyjny całkowity w warunkach przepływu laminarnego	62
4.2 Rozkład gęstości prądu w stanie ustalonym przy przepływie turbulentnym cieczy	63
4.2.1 Bilans gęstości prądów przy przepływie turbulentnym	64
4.2.2 Dyfuzyjność turbulentna	65
4.2.3 Równanie relaksacji ładunku w stanie ustalonym przy przepływie turbulentnym	67
4.2.4 Rozwiązanie ogólne w podwarstwie laminarnej	68
4.2.5 Rozwiązanie ogólne w warstwie buforowej	74
4.2.6 Rozwiązanie ogólne w warstwie turbulentnej	79
4.2.7 Rozkład gęstości ładunku przy przepływie turbulentnym	81
4.2.8 Ładunek całkowity przy przepływie turbulentnym	84
4.2.9 Rozkład gęstości prądu w rurce	85
4.2.10 Prąd całkowity w rurce w stanie ustalonym przy przepływie turbulentnym	92
5 Modele numeryczne elektryzacji strumieniowej	97
5.1 Obliczenia numeryczne 1D w stanie ustalonym czasowo i przestrzennie	98
5.2 Obliczenia numeryczne 2D w stanie ustalonym czasowo i przestrzennie	101
5.2.1 Model matematyczny oraz warunki brzegowe i początkowe	102
5.2.2 Wyznaczanie rozkładu gęstości prądu w warunkach przepływu laminarnego	105
5.2.3 Modelowanie gęstości prądu w warunkach przepływu turbulentnego	109

5.3 Rozkład gęstości prądu przy założeniu przeładowania	119
6 Badania eksperymentalne elektryzacji strumieniowej	123
6.1 Układ do pomiaru rozkładu gęstości prądu elektryzacji w rurce	123
6.2 Wyniki pomiarów prądu elektryzacji w układzie przepływowym	129
6.2.1 Charakterystyka mierzonego sygnału	130
6.2.2 Rozkłady prądu w rurce	134
6.2.3 Weryfikacja modeli analitycznych w warunkach przepływu laminarnego	136
6.2.4 Weryfikacja modeli analitycznych w warunkach przepływu turbulentnego	140
7 Podsumowanie	147
8 Problemy otwarte	151
Dodatek A	
Warunki brzegowe oraz wyznaczenie stałych równania relaksacji ładunku	155
Bibliografia	167
Streszczenie	185