

Spis treści

Od Autora	9
1. Wprowadzenie	11
1.1. Ośrodki porowate	11
1.2. Koncepcje badań ośrodków porowatych	12
1.3. Podejście makroskalowe	13
1.4. Podejście mikroskalowe	16
1.5. Zbiór Φ	18
1.6. Definicja krętości	18
1.7. Koncepcja krętości w ośrodkach porowatych	19
1.8. Sposoby wyznaczania krętości	20
1.9. Krętość w formułach empirycznych	22
1.10. Podejście algorytmiczne w literaturze	24
1.11. Metody generacji geometrii ośrodków porowatych	26
1.12. Geneza algorytmów	27
1.13. Warsztat badawczy	29
2. Losowe struktury porowate	32
2.1. Geometria domeny obliczeniowej	32
2.2. Metody generacji struktur wirtualnych	36
2.3. Powierzchnie i objętości cząstek	37
2.4. Średnice cząstek	39
2.5. Lokalizacje cząstek	48
2.6. Porowatość docelowa	50
2.7. Przykłady dwuwymiarowych struktur porowatych	51
2.8. Porowatość regionów	54
2.9. Przykłady trójwymiarowych struktur porowatych	57
3. Fizyczne struktury porowate	59
3.1. Metoda elementów dyskretnych	59
3.1.1. Równania zachowania	59
3.1.2. Lokalizacja kontaktów	61
3.1.3. Modele kontaktów w kierunku normalnym	62
3.1.4. Modele kontaktów w kierunku stycznym	66
3.1.5. Algorytm metody elementów dyskretnych	68
3.2. Metody generacji fizycznych struktur porowatych	70
3.3. Przykłady fizycznych struktur porowatych	72
4. Reprezentacja geometrii	77
4.1. Rodzaje zapisu geometrii	77
4.2. Ciągła i dyskretna reprezentacja funkcji	79
4.3. Geometria wewnętrzna i zewnętrzna	80
4.4. Siatki numeryczne	82
4.5. Interpretacja punktów dyskretyzacji	84
4.6. Format VTK	85
4.7. Konwersja geometrii wektorowej na binarną	91
4.8. Rozdzielczość geometrii binarnej	93

4.9.	Porowatość macierzy binarnych	96
4.10.	Spójne i niespójne warunki brzegowe	97
4.11.	Generowanie losowej geometrii binarnej z granicami niespójnymi	99
4.12.	Generowanie losowej geometrii binarnej z granicami spójnymi	103
4.13.	Zagęszczanie geometrii binarnej	104
4.14.	Transformacje geometrii binarnej	106
4.15.	Indeksowanie macierzy	108
4.16.	Format STL	110
5.	Algorytm A-Star	111
5.1.	Opis algorytmu	111
5.2.	Regularna siatka punktów startu	113
5.3.	Implementacja	114
5.4.	Problem wnęki	127
5.5.	Funkcje heurystyki	130
5.6.	Badania struktur porowatych o różnych porowatościach	132
5.7.	Podsumowanie	134
6.	Algorytm wyszukiwania ścieżki	135
6.1.	Opis algorytmu	135
6.2.	Implementacja	136
6.3.	Algorytm wyszukiwania ścieżki vs. algorytm A-Star	145
6.4.	Podsumowanie	153
7.	Algorytm spaceru losowego	154
7.1.	Opis algorytmu	154
7.2.	Implementacja	156
7.3.	Przykłady działania algorytmu spaceru losowego	158
7.4.	Algorytm spaceru losowego vs. inne algorytmy binarne	162
7.5.	Mapy ścieżek	163
7.6.	Wydajność algorytmów binarnych	165
7.7.	Podsumowanie	167
8.	Algorytm wodospadu	168
8.1.	Opis algorytmu	168
8.2.	Wskaźniki struktury geometrii	169
8.3.	Implementacja	170
8.4.	Przykłady działania algorytmu wodospadu	174
8.5.	Algorytm wodospadu vs algorytmy binarne	177
8.6.	Algorytm wodospadu vs. inne metody obliczania krętości	179
8.7.	Wpływ liczby punktów startu na wynik	180
8.8.	Badania wskaźników struktury geometrii	181
8.9.	Potencjał algorytmu wodospadu	186
8.10.	Podsumowanie	187
9.	Metoda śledzenia ścieżki	188
9.1.	Opis algorytmu	188
9.2.	Implementacja	199
9.3.	Przykład działania algorytmu	201
9.4.	Pola krętości	204

9.5.	Metoda śledzenia ścieżki w układach 2D	206
9.6.	Wizualizacja elementów algorytmu w układach 2D	215
9.7.	Podsumowanie	218
10.	Krętość hydrauliczna (metoda objętości skończonych)	219
10.1.	Metoda objętości skończonych	219
10.1.1.	Objętość skończona	219
10.1.2.	Strumień	220
10.1.3.	Bilans objętościowy i powierzchniowy	220
10.1.4.	Podstawowy układ równań bilansowych	221
10.1.5.	Domknięcia	223
10.1.6.	Równanie stanu	224
10.1.7.	Modelowanie zjawiska lepkości	224
10.1.8.	Modelowanie turbulencji	224
10.1.9.	Modelowanie przepływu ciepła	226
10.1.10.	Modelowanie członów źródłowych	227
10.1.11.	Algorytm metody objętości skończonych	227
10.1.12.	Potrzeba rozwiązywania układów równań liniowych	228
10.2.	Praca w pakiecie OpenFOAM	231
10.2.1.	Idea tworzenia siatki numerycznej	231
10.2.2.	Import geometrii	233
10.2.3.	Eksport danych i obliczanie krętości hydraulicznej	238
11.	Krętość hydrauliczna (metoda gazu sieciowego Boltzmanna)	241
11.1.	Metoda gazu sieciowego Boltzmanna	241
11.1.1.	Pojęcie przestrzeni fazowej	241
11.1.2.	Równanie kinetyczne Boltzmanna	242
11.1.3.	Model kolizji BGK	243
11.1.4.	Modele sieci	244
11.1.5.	Obliczanie wielkości makroskopowych	246
11.1.6.	Warunki brzegowe	247
11.2.	Implementacja	247
11.3.	Przykład symulacji metodą gazu sieciowego Boltzmanna	254
11.4.	Porównanie krętości hydraulicznej FVM i LBM	259
11.5.	Metoda gazu sieciowego Boltzmanna w 3D	260
12.	Algorytm linii prądu	262
12.1.	Przygotowanie pola prędkości	262
12.2.	Algorytm wyznaczania linii prądu	263
12.3.	Implementacja	266
12.3.1.	Wyznaczanie punktów startu	266
12.3.2.	Korekta metody w obszarach małych prędkości	268
12.4.	Przykłady zastosowania algorytmu	269
12.5.	Czas działania algorytmu	275
12.6.	Podsumowanie algorytmu linii prądu	276
13.	Podsumowanie	278
	Literatura	283
	Załącznik	289