

Spis treści

Oznaczenia i wymiary najważniejszych wielkości	9
Wstęp	13
1. Arkusz przepływów w systemie	15
1.1. Działanie, proces, proces produkcji, proces świadczenia usług, proces technologiczny	15
1.2. System	16
1.3. Modelowanie	16
1.4. Technologia chemiczna	17
1.5. Arkusz przepływów w systemie	18
1.5.1. Indeksowanie strumieni i składników systemu	23
1.5.2. Opis matematyczny	25
1.5.3. Trzy sposoby matematycznego opisu systemu	26
1.5.3.1. Sposób sekwencyjno-modularny	27
1.5.3.2. Sposób układu równań	31
1.5.4. Porównanie podejścia sekwencyjno-modularnego i układu równań	33
1.5.5. Przykłady form modularnych	34
1.5.5.1. Odwzorowanie pompy (wentylatora)	34
1.5.5.2. Trójnik	35
1.5.5.3. Wymiennik ciepła	35
1.5.6. Przykładowe charakterystyki składników (modułów) systemu	36
1.6. Literatura	39
1.7. Pytania i problemy do rozwiązania	40
2. Ogólne bilanse masy, pędu i energii	42
2.1. Podstawy bilansów ogólnych	42
2.2. Ogólny bilans masowy	42
2.3. Ogólny bilans pędu	46
2.4. Ogólny bilans energetyczny	48
2.5. Literatura	50
2.6. Pytania i problemy do rozwiązania	50

3. Różniczkowe bilanse masy, pędu i energii	52
3.1. Podstawy bilansów różniczkowych	52
3.2. Różniczkowy bilans masowy	52
3.3. Różniczkowy bilans pędu	54
3.3.1. Wprowadzenie	54
3.3.2. Równania ruchu wyrażone za pomocą naprężeń	57
3.3.3. Naprężenia styczne i składowe prędkości	58
3.3.4. Naprężenia normalne i składowe prędkości	62
3.3.5. Równania Naviera–Stokesa	67
3.4. Różniczkowy bilans energetyczny	68
3.4.1. Elementy termodynamiki technicznej	68
3.4.1.1. Podstawowe pojęcia i definicje	68
3.4.1.2. Pierwsza zasada termodynamiki dla układów zamkniętych	70
3.4.1.3. Pierwsza zasada termodynamiki dla układów otwartych	72
3.4.1.4. Równanie bilansu cieplnego pieca	74
3.4.1.5. Praca techniczna, objętościowa, stracona	74
3.4.1.6. Praca maksymalna	76
3.4.1.7. Egzergia	77
3.4.1.8. Prawo Gouya–Stodoli	79
3.4.2. Równanie różniczkowego bilansu energetycznego	79
3.5. Literatura	84
3.6. Pytania i problemy do rozwiązania	85
4. Elementy ruchu ciepła	90
4.1. Podstawowe rodzaje wymiany ciepła	90
4.1.1. Przewodzenie	90
4.1.2. Konwekcja	90
4.1.3. Promieniowanie	91
4.2. Strumień i gęstość strumienia ciepła	91
4.3. Strumień i gęstość strumienia ciepła w przewodzeniu	92
4.3.1. Równanie przewodzenia ciepła	94
4.3.2. Współczynnik przewodności cieplnej	96
4.3.2.1. Współczynnik przewodności cieplnej gazów	96
4.3.2.2. Współczynnik przewodności cieplnej ciał stałych	98
4.3.2.3. Współczynnik przewodności cieplnej cieczy	102
4.3.2.4. Współczynnik przewodności cieplnej materiałów wielofazowych	102
4.4. Strumień i gęstość strumienia ciepła w konwekcji	104
4.5. Strumień i gęstość strumienia ciepła w promieniowaniu	106
4.6. Złożona wymiana ciepła	108

4.7. Wymiana ciepła przez promieniowanie	111
4.7.1. Promieniowanie ciała doskonale czarnego	111
4.7.1.1. Gęstość strumienia emisji monochromatycznej	111
4.7.1.2. Prawo przesunięć Wiena	111
4.7.1.3. Prawo Stefana–Boltzmana	112
4.7.1.4. Prawo Lamberta	112
4.7.2. Promieniowanie ciał stałych i ciekłych	113
4.7.2.1. Emisyjność	114
4.7.2.2. Absorpcyjność	117
4.7.2.3. Emisyjność ciała szarego	117
4.7.2.4. Prawo Kirchhoffa	117
4.7.2.5. Refleksyjność	118
4.7.2.6. Przezroczystość	119
4.7.3. Strumień emisji własnej, jasności i opromieniowania powierzchni	119
4.7.3.1. Wymiana ciepła przez promieniowanie między powierzchniami równoległymi	122
4.7.3.2. Ekrany	123
4.7.4. Wymiana ciepła przez promieniowanie między powierzchnią wypukłą a powierzchnią ją otaczającą	124
4.7.5. Współczynniki konfiguracji	127
4.7.5.1. Interpretacja fizykalna współczynników konfiguracji	127
4.7.5.2. Współczynniki konfiguracji dla powierzchni elementarnych	128
4.7.5.3. Współczynniki konfiguracji dla powierzchni skończonych	129
4.7.5.4. Niektóre współczynniki konfiguracji	130
4.7.6. Promieniowanie gazów	131
4.7.7. Wymiana ciepła przez promieniowanie między emitującą-absorbującą bryłą gazową a otaczającą ją powierzchnią	137
4.8. Literatura	138
4.9. Pytania i problemy do rozwiązania	139
5. Ruch laminarny i ruch burzliwy płynu	141
5.1. Doświadczenie Reynoldsa	141
5.2. Równania Reynoldsa	142
5.3. Lokalna izotropia i równowaga małych wirów	146
5.4. Droga mieszania Prandtla	146
5.5. Linia i funkcja prądu	147
5.6. Model burzliwości $k \sim \epsilon$	149

5.7. Teoria podobieństwa i analiza wymiarowa	151
5.7.1. Pierwsze twierdzenie teorii podobieństwa	152
5.7.2. Drugie twierdzenie teorii podobieństwa	152
5.7.3. Trzecie twierdzenie teorii podobieństwa	153
5.7.4. Przykład zastosowania teorii podobieństwa w analizie nagrzewania płyty płaskiej	153
5.7.5. Interpretacja fizykalna najczęściej używanych liczb podobieństwa	155
5.8. Analiza wymiarowa	159
5.8.1. Przykład zastosowania analizy wymiarowej do procesu mieszania	160
5.9. Równania na konwekcyjny współczynnik przejmowania ciepła	163
5.9.1. Współczynnik przejmowania ciepła przy laminarnej warstwie przyściennej na płycie płaskiej	163
5.9.2. Współczynnik przejmowania ciepła przy burzliwej warstwie przyściennej na płycie płaskiej	166
5.9.3. Współczynnik przejmowania ciepła przy przepływie w rurach o przekroju kołowym	167
5.9.4. Współczynnik przejmowania ciepła przy przepływie w przewodach o przekroju niekołowym	173
5.9.5. Współczynnik przejmowania ciepła w konwekcji swobodnej	174
5.10. Literatura	177
5.11. Pytania i problemy do rozwiązania	178
6. Wymiana masy	179
6.1. Proces wymiany masy	179
6.2. Wymiana masy przez dyfuzję	179
6.2.1. Dyfuzja składnika mieszaniny gazów lub płynów, nieruchomej i izotermicznej	180
6.2.2. Dyfuzja dwóch składników mieszaniny nieruchomej w przeciwnych kierunkach	180
6.2.3. Dyfuzja gazu przez warstwę innego gazu obojętnego	181
6.2.4. Podobieństwo równań ruchu strumieni ciepła, pędu i masy	183
6.3. Wymiana masy przez konwekcję	184
6.3.1. Podobieństwo równań ruchu masy przez konwekcję i bilansu energetycznego	184
6.4. Zastosowanie teorii podobieństwa do konwekcyjnej wymiany masy	185
6.5. Uproszczony model wymiany masy w toczącej się warstwie ziaren	185
6.5.1. Wymiana masy między ziarnami wsadu a ośrodkiem gazowym	185
6.5.2. Model ruchu warstwy wsadu w piecu obrotowym	186

6.5.3. Równania uproszczonego modelu wymiany masy	
w warstwie wsadu pieca obrotowego	187
6.5.3.1. Objętościowy strumień przepływu gazu	188
6.5.3.2. Kształt krzywych stężenia gazu wewnątrz warstwy	190
6.5.3.3. Współczynnik efektywności wymiany masy	
w warstwie	192
6.6. Uproszczony model zupełnego i całkowitego przereagowania	
w warstwie wsadu pieca obrotowego	195
6.7. Zastosowanie uproszczonego modelu zupełnego	
i całkowitego przereagowania w warstwie wsadu pieca obrotowego	196
6.8. Przepływ przez złożę cząstek stałych	197
6.9. Literatura	199
6.10. Pytania i problemy do rozwiązania	199
7. Modelowanie przebiegów reakcji heterogenicznych	201
7.1. Znaczenie reakcji heterogenicznych	201
7.2. Modele reakcji płyn – ciało stałe	203
7.2.1. Model ogólny	203
7.2.2. Model homogeniczny	204
7.2.3. Model kurczącego się rdzenia	205
7.2.4. Model kurczącego się ziarna	206
7.2.5. Modele ze zmianą struktury porowatego ziarna	207
7.3. Literatura	207
7.4. Pytania i problemy do rozwiązania	208
8. Modelowanie rozdrabniania ciał stałych	209
8.1. Charakterystyka rozdrabniania	209
8.2. Praca rozdrabniania	210
8.3. Literatura	212
8.4. Pytania i problemy do rozwiązania	212
9. Dodatek	213
9.1. Elementy teorii pola	213
9.2. Operacje analizy wektorowej	215
9.3. Jednostki miar	217
9.4. Związki między niektórymi jednostkami układu anglosaskiego	
i międzynarodowego układu SI	218
9.5. Stałe fizykochemiczne	221
9.6. Literatura	221
Skorowidz	223