

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	9
1. PROCESY PRZEPŁYWOWE	15
1.1. Wybrane problemy mechaniki przepływu	15
1.1.1. Metoda określania strat ciśnienia przy przepływie	15
1.1.2. Różne problemy przepływu w rurach	22
1.1.3. Wypływ cieczy ze zbiornika	27
1.1.4. Pompowanie cieczy	30
1.1.5. Przepływy pod niskim ciśnieniem	33
1.2. Procesy ruchu ciał stałych w płynach	37
1.2.1. Opór ośrodka	37
1.2.2. Opadanie grawitacyjne ustalone	39
1.2.3. Opadanie grawitacyjne nieustalone	42
1.2.4. Opadanie zakłócone (sedymentacja)	44
1.2.5. Separacja hydrauliczna	48
1.2.6. Odpylanie gazów (grawitacyjne i bezwładnościowe)	51
1.3. Procesy kontaktowania faz	54
1.3.1. Przepływ przez ładunek nieruchomy (w skruberze)	54
1.3.2. Przepływ przez ładunek fluidyzacyjny	57
1.3.3. Przepływ w transporcie pneumatycznym	61
1.3.4. Przepływ przeciwprądowy gazu i cieczy przez wypełnienie sypkie	64
1.3.5. Barboż gazu w cieczy	69
1.3.6. Hydraulika pól barbożowych	74
1.3.7. Atomizacja (rozpylanie) cieczy w gazie	79
1.3.8. Zetknięcie gazu ze spływającą warstwą cieczy	83
1.3.9. Współprądowy przepływ cieczy i gazu w rurze	85
1.4. Filtracja	87
1.4.1. Opór filtracyjny	87
1.4.2. Filtracja przy stałej grubości warstwy	89
1.4.3. Własności osadu	90
1.4.4. Opór osadu ściśliwego	91
1.4.5. Równanie szybkości filtracji przy zmiennej grubości osadu	91
1.4.6. Filtracja pod stałym ciśnieniem	92
1.4.7. Filtracja ze stałą szybkością	94
1.4.8. Filtracja dwustopniowa	94
1.4.9. Przemywanie osadu	96
1.4.10. Wydajność cyklu filtracyjnego	97
1.4.11. Środki pomocnicze przy filtracji	98
1.4.12. Filtracja ciągła	99
1.4.13. Filtracja gazowa	100
1.4.14. Filtracja w wirówce	101
1.5. Proces mieszania	103
1.5.1. Mieszanie cieczy	103
1.5.2. Zużycie mocy na mieszanie	105

1.5.3. Efektywność mieszania	107
1.5.4. Mieszanie podczas przepływu w rurze	108
1.5.5. Rozkład czasu przebywania w zbiorniku	111
1.5.6. Modelowanie funkcji rozdziału czasu	113
1.5.7. Obliczanie charakterystyk dynamicznych	114
1.5.8. Wykrywanie i oznaczanie przestrzeni martwej	119
1.5.9. Wykrywanie i określanie bocznikowania	121
1.5.10. Układy złożone	124
Literatura do rozdz. 1	127
2. PROCESY CIEPLNE	133
2.1. Wybrane problemy techniki cieplnej	133
2.1.1. Szczególne przypadki przewodzenia ciepła	133
2.1.2. Ogrzewanie i chłodzenie brył	136
2.1.3. Wybrane problemy promieniowania cieplnego	142
2.1.4. Ogrzewanie promiennikowe	145
2.1.5. Promieniowanie gazowe	147
2.1.6. Promieniowanie i konwekcja	151
2.1.7. Określanie ciepła procesu przepływowego	152
2.1.8. Wpływ gazu pod ciśnieniem ze zbiornika	155
2.1.9. Straty ciśnienia przy przepływie gazu przez rurę	159
2.2. Ogrzewanie i chłodzenie płynów	162
2.2.1. Konwekcja ciepła w płynach	162
2.2.2. Wrzenie cieczy	165
2.2.3. Kondensacja pary	171
2.2.4. Intensyfikacja przenikania ciepła	175
2.2.5. Określenie powierzchni grzejnych	179
2.2.6. Określenie temperatur wylotowych w wymiennikach	183
2.2.7. Optima pracy wymienników	184
2.2.8. Określenie przepływu dla żadanego podgrzania	186
2.2.9. Ogrzewanie i chłodzenie cieczy w zbiornikach z mieszaniem	187
2.2.10. Ogrzewanie i chłodzenie zbiornika z cieczą bez mieszania	191
2.2.11. Określenie strat ciepła	192
2.2.12. Izolacja cieplna	194
2.2.13. Regeneracja ciepła	196
2.2.14. Krzepnięcie i topnienie	200
2.2.15. Ogrzewanie elektryczne oporowe	202
2.2.16. Oddychanie zbiorników	203
2.2.17. Chłodzenie cieczy przez samooodparowanie	205
2.3. Procesy skraplania gazów	206
2.3.1. Wykresy dla procesu skraplania gazów	206
2.3.2. Przemiana dławienia	207
2.3.3. Sprężanie izotermiczne i adiabatyczne	212
2.3.4. Problemy chłodnicze	218
2.3.5. Praca minimalna skraplania gazu	221
2.3.6. Proces Lindego	223
2.3.7. Nieodwracalność cyklu Lindego	225
2.3.8. Ulepszenia cyklu Lindego	227
2.3.9. Metoda Claude'a	229
2.3.10. Napełnianie butli skroplonym gazem	231
Literatura do rozdz. 2	233
3. PROCESY PRZEMIAN FAZOWYCH	239
3.1. Zateżanie roztworów ciała stałego	239
3.1.1. Wykresy fazowe i entalpowe dla roztworów	239
3.1.2. Reguły wykresu entalpowego	243
3.1.3. Bilans wyparki jednodziałowej	246
3.1.4. Bilans wyparki mechanicznej	250
3.1.5. Wyparowanie wielostopniowe	252
3.1.6. Metoda graficzna obliczania wyparki wielodziałowej	254
3.1.7. Zateżanie wielostopniowe na wykresie (i , Y)	256
3.1.8. Odciąganie boczne ekstrapary	259
3.1.9. Metoda analityczna obliczania wyparki wielodziałowej	263

3.1.10. Określanie rozkładu temperatur w wyparce	265
3.1.11. Zateżnienie przez samoodparowanie	268
3.1.12. Bezpośrednie ogrzewanie roztworu za pomocą pary przegrzanej	270
3.2. Krystalizacja	271
3.2.1. Wykresy dla krystalizacji	271
3.2.2. Kinetyka krystalizacji	274
3.2.3. Mieszaniny mrozzące	278
3.2.4. Krystalizacja przez chłodzenie	280
3.2.5. Krystalizacja przez odparowanie	281
3.2.6. Krystalizacja na wykresie (i , Y)	284
3.2.7. Krystalizacja przez samoodparowanie	285
3.2.8. Szczególne układy krystalizacyjne	286
3.2.9. Krystalizacja wielostopniowa	288
3.2.10. Krystalizacja z roztworu dwóch soli	290
3.3. Destylacja	294
3.3.1. Sposoby przedstawiania równowagi destylacyjnej	294
3.3.2. Destylacja równowagowa dwuskładnikowa	299
3.3.3. Destylacja równowagowa wieloskładnikowa	303
3.3.4. Kondensacja równowagowa (deflegmacja)	304
3.3.5. Destylacja ekspansyjna (przez samoodparowanie)	306
3.3.6. Destylacja prosta różniczkowa	308
3.3.7. Kondensacja różniczkowa	310
3.3.8. Destylacja różniczkowa wieloskładnikowa	311
3.3.9. Kondensacja różniczkowa wieloskładnikowa	312
3.3.10. Półciągła destylacja prosta	314
3.3.11. Destylacja z parą wodną	315
3.3.12. Niepełne nasycenie przy destylacji z parą wodną	318
3.3.13. Wpływ ciśnienia na destylację z parą wodną	319
3.3.14. Destylacja z parą wodną składnika roztworu	320
3.3.15. Wieloskładnikowa równowagowa destylacja z parą wodną	321
3.3.16. Destylacja z krystalizacją	323
3.3.17. Chłodziarka absorpcyjna	324
Literatura do rozdz. 3	327
4. PROCESY WIELOSTOPNIOWE	333
4.1. Rektyfikacja dwuskładnikowa	333
4.1.1. Bilans cieplny kolumny rektyfikacyjnej	333
4.1.2. Praca rozdzielania odwracalnego	338
4.1.3. Analiza pracy kolumny rektyfikacyjnej	340
4.1.4. Określenie liczby pólek metodą graficzną	345
4.1.5. Obliczanie liczby pólek metodą analityczną (Smokera)	348
4.1.6. Minimum powrotu	349
4.1.7. Minimum liczby pólek teoretycznych	351
4.1.8. Powrót optymalny	353
4.1.9. Zmienna molowość	355
4.1.10. Straty ciepła w kolumnie	359
4.1.11. Rektyfikacja w kolumnach uproszczonych	360
4.1.12. Odciąganie boczne	363
4.1.13. Doprowadzenie boczne drugiej surówki	367
4.1.14. Ogrzewanie bezprzeponowe	370
4.1.15. Przechłodzenie odcieku	371
4.1.16. Rektyfikacja okresowa	372
4.1.17. Rektyfikacja z pompą cieplną	378
4.1.18. Destylacja dwustopniowa	379
4.1.19. Destylacja układów z ograniczoną rozpuszczalnością	382
4.2. Rektyfikacja trójskładnikowa	388
4.2.1. Wykresy dla destylacji trójskładnikowej	388
4.2.2. Rektyfikacja roztworów trójskładnikowych	390
4.2.3. Destylacja stopniowana z parą wodną	392
4.2.4. Destylacja ekstrakcyjna	395
4.2.5. Destylacja azeotropowa	403
4.2.6. Destylacja azeotropowa okresowa	411

4.3. Absorpcja stopniowana	413
4.3.1. Wykresy robocze dla absorpcji	413
4.3.2. Bilans absorpcji	417
4.3.3. Obliczanie liczby pól przy absorpcji	418
4.3.4. Desorpcja stopniowana	421
4.3.5. Dwutemperaturowy proces absorpcyjno-desorpcyjny	423
4.4. Ekstrakcja stopniowana	427
4.4.1. Wykresy robocze dla ekstrakcji	427
4.4.2. Bilans jednego stopnia ekstrakcyjnego	430
4.4.3. Ekstrakcja wielostopniowa w prądzie skrzyżowanym	432
4.4.4. Zasada ekstrakcji przeciwprądowej	435
4.4.5. Dyskusja ekstrakcji przeciwprądowej	438
4.4.6. Ekstrakcja z zastosowaniem powrotu	442
4.4.7. Zasilanie baterii dwiema surówkami	444
4.4.8. Ekstrakcja selektywna	446
4.4.9. Ługowanie ciał stałych	449
4.5. Procesy stopniowane wieloskładnikowe	450
4.5.1. Rektyfikacja wieloskładnikowa	450
4.5.2. Minimum powrotu (minimum pól) przy rektyfikacji wieloskładnikowej	453
4.5.3. Uproszczony sposób obliczania pól	455
4.5.4. Ścisłe obliczanie liczby pól przy rektyfikacji	456
4.5.5. Absorpcja wielostopniowa	462
4.5.6. Absorpcja wieloskładnikowa bez gazu obojętnego	465
4.5.7. Rektyfikacja wieloskładnikowa okresowa	468
4.5.8. Uogólnione równanie dla procesu przeciwprądowego stopniowanego	471
4.6. Sprawność stopni (pól)	475
4.6.1. Średnia sprawność kolumny (baterii przeciwprądowej)	475
4.6.2. Sprawność jednego stopnia (półki)	476
4.6.3. Sprawność punktowa na stopniu (półce)	481
4.6.4. Związek między sprawnością stopnia i sprawnością punktową	483
4.6.5. Wpływ porywania cieczy przez gaz na sprawność półki	486
Literatura do rozdz. 4	487
5. PROCESY DYFUZYJNO-KINETYCZNE	493
5.1. Absorpcja ciągła	493
5.1.1. Bilans absorpcji	493
5.1.2. Kinetyka absorpcji	496
5.1.3. Uogólnienie dla współczynników kinetycznych	501
5.1.4. Kinetyka absorpcji w różnych układach	503
5.1.5. Kinetyka absorpcji z reakcją chemiczną	505
5.1.6. Metoda graficzna obliczania absorpcji	507
5.1.7. Analityczne obliczanie absorpcji	510
5.1.8. Obliczanie absorpcji dla większych stężeń	513
5.1.9. Układy absorpcyjne szczególne	516
5.1.10. Graficzne określanie liczby jednostek przenikania masy	517
5.1.11. Wpływ temperatury i ciśnienia na absorpcję	519
5.1.12. Ciągła absorpcja wieloskładnikowa	522
5.2. Destylacja w kolumnach wypełnionych	523
5.2.1. Zasada procesu w kolumnie wypełnionej	523
5.2.2. Obliczanie wysokości kolumny przy pomocy HTU	524
5.2.3. Obliczanie wysokości przy pomocy liczby pól teoretycznych	526
5.3. Ekstrakcja ciągła (w kolumnach)	529
5.3.1. Zasada ekstrakcji ciągłej	529
5.3.2. Kinetyka ekstrakcji ciągłej	530
5.3.3. Obliczanie wysokości kolumn	532
5.3.4. Obliczanie przy pomocy współczynników przenikania (sumarycznych)	534
5.3.5. Ekstrakcja z rozcieńczonej surówki	536
Literatura do rozdz. 5	538

6. PROCESY JEDNOCZESNEGO PRZENIKANIA CIEPŁA I MASY	543
6.1. Klimatyzacja powietrza	543
6.1.1. Wykres fazowy (t , X)	543
6.1.2. Zasady psychrometrii	547
6.1.3. Przeponowe chłodzenie powietrza wilgotnego	550
6.1.4. Nawilżanie powietrza z recyrkulacją	553
6.1.5. Przeciwprądowe nawilżanie powietrza	555
6.1.6. Suszenie powietrza	560
6.1.7. Współprądowy proces nawilżania lub suszenia powietrza	561
6.1.8. Wykres entalpowy	563
6.1.9. Mieszanie strumieni powietrza wilgotnego	567
6.1.10. Mieszanie powietrza z wodą lub parą wodną	569
6.1.11. Przeponowe chłodzenie powietrza	572
6.2. Suszarnictwo	572
6.2.1. Bilans suszenia adiabatycznego	572
6.2.2. Bilans suszenia z zagrzewaniem wewnętrznym	574
6.2.3. Suszenie wielostopniowe	575
6.2.4. Suszenie z recyrkulacją	576
6.2.5. Suszenie z regeneracją ciepła	577
6.2.6. Wymrażanie par przez mieszanie	578
6.2.7. Wykres ($S-X$) dla powietrza wilgotnego	579
6.2.8. Ekspansja adiabatyczna powietrza wilgotnego	582
6.2.9. Nieodwracalność procesu suszenia	583
6.2.10. Suszenie z wkładem pracy	584
6.2.11. Wykres równowagi suszarniczej	585
6.2.12. Szybkość suszenia	589
6.2.13. Wilgotność krytyczna przy suszeniu dyfuzyjnym	593
6.2.14. Współczynnik suszarniczy dla procesu dyfuzyjnego	595
6.2.15. Charakterystyka kinetyczna suszenia materiałów ziarnistych	596
6.2.16. Zmienne warunki suszenia	597
6.2.17. Metoda entalpowa dla zmiennych warunków suszenia	601
Literatura do rozdz. 6	605
7. TECHNIKA REAKCJI CHEMICZNYCH	611
7.1. Bilansowanie procesów chemicznych	611
7.1.1. Bilans materiałowy reakcji prostej	611
7.1.2. Bilans cieplny reakcji	612
7.1.3. Efekt cieplny reakcji ΔH	614
7.2. Procesy dochodzące do równowagi	616
7.2.1. Stała równowagi w gazach	616
7.2.2. Obliczanie stopnia konwersji	618
7.2.3. Wpływ temperatury i ciśnienia na równowagę	620
7.2.4. Wykres entalpowy Bosnjakovića	622
7.2.5. Przemiany na wykresie entalpowym	624
7.2.6. Wykresy entalpowe Bosnjakovića dla reakcji niestechiometrycznej	628
7.3. Reaktory okresowe	630
7.3.1. Szybkość reakcji chemicznej	630
7.3.2. Czas elementarnej reakcji nieodwracalnej	631
7.3.3. Czas nieelementarnej reakcji nieodwracalnej	634
7.3.4. Reakcje autokatalityczne	635
7.3.5. Czas elementarnej reakcji odwracalnej	636
7.3.6. Reakcja okresowa przy zmiennej objętości	638
7.3.7. Reaktor półokresowy	639
7.4. Reaktory ciągłe	640
7.4.1. Reaktor rurowy z przepływem tłokowym	640
7.4.2. Reaktor z mieszaniem doskonałym	644
7.4.3. Kaskada reaktora z mieszaniem doskonałym	646
7.5. Reakcje złożone	650
7.5.1. Selektywność	650
7.5.2. Kryteria wyboru reaktora dla reakcji równoległych	652

7.5.3. Obliczanie przebiegu reakcji równoległych	655
7.5.4. Obliczanie przebiegu reakcji szeregowych	657
7.5.5. Reakcje szeregowie w reaktorze z mieszaniem doskonałym . . .	658
7.5.6. Przeliczanie danych z reaktora okresowego (lub tłokowego) na reaktor z mieszaniem doskonałym	659
7.6. Reakcje nieizotermiczne	661
7.6.1. Wpływ temperatury na szybkość reakcji	661
7.6.2. Optymalizacja reakcji egzotermicznej	663
7.6.3. Reaktory z mieszaniem doskonałym z regulacją cieplną	666
7.6.4. Reaktory tłokowe z regulacją cieplną	669
7.6.5. Dobór temperatur w reakcjach złożonych	673
7.7. Różne problemy reaktorów	674
7.7.1. Konwersja z uwzględnieniem funkcji rozdziału czasu (segregacja)	674
7.7.2. Dyspersja w reaktorze tłokowym	678
7.7.3. Kinetyka reakcji płynu z fazą stałą	680
7.7.4. Wpływ rozdziału czasu na reakcję niejednorodną	684
7.7.5. Ekonomia reaktorów	686
Literatura do rozdz. 7	689
SKOROWIDZ RZECZOWY	691