

Spis treści

1. Znaczenie i zadania technologii chemicznej (Henryk Koneczny)	11
1.1. Historia rozwoju przemysłu chemicznego	11
1.1.1. Od początków dziejów ludzkości	11
1.1.2. Przemysł chemiczny w Polsce w okresie dwudziestolecia międzywojennego i obecnie	13
1.1.3. Znaczenie nowoczesnego przemysłu chemicznego w gospodarce	14
1.2. Technologia chemiczna jako przedmiot nauczania i jej zadania	15
1.2.1. Zagadnienia objęte technologią chemiczną jako przedmiotem nauczania	15
1.2.2. Podstawowe pojęcia technologiczne	18
1.2.3. Przechodzenie od koncepcji chemicznej do rozwiązań technologicznych	19
1.2.4. Schematy technologiczne	19
1.2.5. Prowadzenie badań w celu doskonalenia procesów technologicznych	23
1.2.6. Podstawy ekonomiczne prowadzenia procesu technologicznego	23
2. Operacje jednostkowe (Edgar Bortel)	26
2.1. Wprowadzanie	26
2.2. Operacje dynamiczne	33
2.2.1. Uwagi ogólne	33
2.2.2. Ruch płynów doskonałych	34
2.2.3. Ciągłość strumienia	34
2.2.4. Różniczkowe równanie przepływu Eulera oraz równanie Bernoulliego	35
2.2.5. Przepływ płynów rzeczywistych	37
2.2.6. Elementy teorii podobieństwa	41
2.2.7. Straty ciśnienia na pokonanie tarcia wewnętrznego	50
2.2.8. Opory miejscowe	52
2.2.9. Obliczanie optymalnej średnicy przewodu rurowego	54
2.2.10. Opory przy przepływie płynu przez warstwę porowatą i ziarnistą	55
2.2.11. Ruch cząstek zdyspergowanych w płynach	61
2.2.12. Fluidyzacja	64
2.2.13. Przesyłanie cieczy i gazów	69
2.2.13.1. Pompy odśrodkowe	72
2.2.13.2. Pompy osiowe (śmigłowe)	76
2.2.14. Rozdzielanie ciekłych układów niejednorodnych	76
2.2.14.1. Wprowadzenie	76
2.2.14.2. Odstawanie (sedymentacja)	77
2.2.14.3. Wirowanie	82

2.2.14.4.	Hydrocyklony, cyklony	83
2.2.14.5.	Filtracja	86
2.3.	Operacje cieplne	94
2.3.1.	Wprowadzenie	94
2.3.2.	Przewodnictwo cieplne	95
2.3.3.	Przewodzenie ciepła przez ściankę płaską w warunkach stacjonarnych	96
2.3.4.	Przewodzenie ciepła przez ściankę cylindryczną	97
2.3.5.	Przenoszenie ciepła na drodze konwekcji	99
2.3.6.	Przenoszenie ciepła przez promieniowanie	104
2.3.7.	Przenikanie ciepła	105
2.3.8.	Pojęcie średniej napędowej różnicy temperatur i średnich temperatur nośników ciepła	109
2.3.9.	Straty ciepła do otoczenia; izolacja	111
2.3.10.	Chłodzenie do niskich temperatur	115
2.3.11.	Urządzenia do wymiany ciepła	122
2.3.12.	Sposoby ogrzewania	125
2.4.	Operacje dyfuzyjne	126
2.4.1.	Wprowadzenie	126
2.4.2.	Sposoby wyrażania stężeń składnika dyfuzyjnie czynnego w różnych fazach	128
2.4.3.	Bilans materiałowy operacji dyfuzyjnych	129
2.4.4.	Średnia robocza siła napędowa	132
2.4.5.	Zmodyfikowane równanie przenikania masy	134
2.4.6.	Przenikanie masy między fazami	136
2.4.7.	Zależność współczynnika przenikania masy od współczynników wnikania masy	141
2.4.8.	Absorpcja jako operacja jednostkowa	143
2.4.8.1.	Bilans materiałowy operacji absorpcji	144
2.4.8.2.	Bilans energetyczny operacji absorpcji	145
2.4.9.	Absorbery	147
2.4.9.1.	Absorbery natryskowe (skrubery) bez wypełnienia	149
2.4.9.2.	Absorbery natryskowe (skrubery) z wypełnieniem	149
2.4.9.3.	Instalacje absorpcyjne	150
2.4.10.	Desorpcja	151
2.4.11.	Destylacja i rektyfikacja	151
2.4.11.1.	Wprowadzenie	151
2.4.11.2.	Destylacja zwykła	155
2.4.11.3.	Zasady rektyfikacji	157
2.4.11.4.	Minimalny i roboczy stopień deflegmacji	161
2.4.11.5.	Bilans cieplny rektyfikacji	165
2.4.12.	Zasady konstrukcji kolumn rektyfikacyjnych	167
2.4.12.1.	Problemy obliczania parametrów kolumn rektyfikacyjnych	168
2.4.13.	Ekstrakcja	169
2.4.13.1.	Wiadomości ogólne	169
2.4.13.2.	Ekstrakcja w warunkach minimalnej wzajemnej rozpuszczalności ekstrahenta i rozpuszczalnika pierwotnego	171
2.4.13.3.	Ekstrakcja wielokrotna z doprowadzeniem na każdą półkę świeżego rozpuszczalnika	172
2.4.13.4.	Ekstrakcja w warunkach ograniczonej wzajemnej rozpuszczalności ekstrahenta i rozpuszczalnika pierwotnego	173
2.4.13.5.	Zasady konstrukcji ekstraktorów	179
2.4.14.	Adsorpcja	181
2.4.15.	Suszenie	185
2.4.15.1.	Wstęp	185
2.4.15.2.	Statyka suszenia	186

2.4.15.3. Właściwości powietrza jako czynnika suszącego	187
2.4.15.4. Wykres Ramzina $i-X$	188
2.4.15.5. Równowaga suszarnicza	193
2.4.15.6. Bilans materiałowy i energetyczny suszenia	194
2.4.15.7. Podstawowe schematy procesów suszarniczych	196
2.4.15.8. Kinetyka suszenia	200
2.4.15.9. Zasady klasyfikacji i konstrukcji urządzeń suszarniczych	202
2.4.16. Krystalizacja	205
2.4.16.1. Bilans materiałowy i cieplny krystalizacji	206
2.4.16.2. Krystalizatory	207
3. Zagadnienia dotyczące równowag reakcji chemicznych w technologii chemicznej (Edgar Bortel)	210
3.1. Wprowadzenie	210
3.2. Stała równowagi	212
3.3. Bilans i efekt cieplny reakcji	213
3.4. Wyznaczanie stopnia przemiany	215
3.5. Wykresy entalpowe (Bošnjakoviča)	218
3.5.1. Ilustracja przemian na wykresie $i-\alpha$	220
3.5.2. Wykresy entalpowe dla reakcji niestechiometrycznych	222
4. Podstawowe zagadnienia kinetyki przemian chemicznych w skali przemysłowej (Edgar Bortel)	224
4.1. Wprowadzenie	224
4.2. Kinetyka reakcji chemicznych w układach jednorodnych	226
4.2.1. Wpływ stężenia	226
4.2.2. Reakcje równoległe	228
4.2.3. Reakcje następne	229
4.2.4. Reakcje trzeciego rzędu	231
4.2.5. Reakcje złożone	232
4.2.6. Reakcje odwracalne pierwszego rzędu	232
4.3. Reakcje łańcuchowe	233
4.3.1. Reakcja bromu z wodorem	234
4.4. Wpływ ciśnienia na szybkość reakcji w fazie gazowej	235
4.5. Wpływ temperatury na szybkość reakcji w układzie jednorodnym. Energia aktywacji	236
4.6. Zagadnienia kinetyki reakcji chemicznych w układach niejednorodnych	239
4.7. Makrokinetyka chemiczna	244
5. Reaktory chemiczne (Edgar Bortel)	246
5.1. Ogólna charakterystyka reaktorów	246
5.2. Obliczanie parametrów reaktorów okresowych	247
5.3. Okresowy reaktor izotermiczny z doskonałym wymieszaniem	248
5.4. Pojedynczy reaktor izotermiczny o działaniu ciągłym z doskonałym wymieszaniem	249
5.5. Kaskada reaktorów z doskonałym wymieszaniem	252
5.6. Reaktory rurowe izotermiczne z przepływem tłokowym	256
5.7. Reaktor rurowy z mieszaniem wzdłuż osi przepływu	257
5.8. Reaktory nieizotermiczne	258
6. Procesy jednostkowe	260
6.1. Procesy elektrotermiczne (Henryk Koneczny)	260
6.1.1. Wprowadzenie — podstawy teoretyczne	260

6.1.2. Sposób ogrzewania elektrotermicznego	261
6.1.3. Otrzymywanie karbidu jako przykład stosowania procesów elektrotermicznych	263
6.1.3.1. Proces technologiczny	266
6.2. Procesy elektrochemiczne (<i>Henryk Koneczny</i>)	267
6.2.1. Wprowadzenie i podstawy teoretyczne	267
6.2.2. Elektroliza związków stopionych — otrzymywanie glinu	273
6.2.2.1. Surowce wykorzystywane do otrzymywania tlenku glinu	273
6.2.2.2. Wydzielanie tlenku glinu	274
6.2.2.3. Elektrolityczne otrzymywanie glinu	274
6.3. Procesy wielofazowe (<i>Henryk Koneczny</i>)	276
6.3.1. Rozpatrywanie procesów wielofazowych	276
6.3.1.1. Wykres trójkątowy wg Gibbsa	279
6.3.2. Procesy w roztworach wodnych — karbonizacja w procesie otrzymywania sody	282
6.3.3. Procesy w układzie ciało stałe—ciecz	284
6.3.4. Procesy w układzie ciało stałe—ciało stałe	287
6.4. Piroliza (<i>Edgar Bortel</i>)	291
6.4.1. Wiadomości ogólne	291
6.4.2. Mechanizm rodnikowy pirolizy	293
6.4.3. Mechanizm jonowy krakowania	294
6.5. Uwodornianie (<i>Edgar Bortel</i>)	295
6.5.1. Wprowadzenie — proces Fischera–Tropscha	295
6.5.2. Uwodornianie w fazie gazowej	296
6.5.2.1. Synteza metanolu i jego znaczenie jako surowca chemicznego	296
6.5.2.2. Synteza „oxo”	301
6.5.3. Uwodornianie w fazie ciekłej. Uwodornianie (utwardzanie) tłuszczów	305
6.5.4. Uwodornianie w fazie stałej na przykładzie destruktywnego uwodornienia węgla	306
6.6. Utlenianie (<i>Edgar Bortel</i>)	309
6.6.1. Czynniki utleniające w przemyśle chemicznym. Utlenianie, półspalanie, spalanie	309
6.6.2. Procesy spalania ciał stałych	310
6.6.3. Utlenianie powietrzem w fazie gazowej. Utlenianie benzenu, etylenu, o-ksylenu	313
6.6.3.1. Produkcja bezwodnika kwasu maleinowego z benzenu	313
6.6.3.2. Synteza tlenku etylenu przez utlenianie etylenu tlenem	315
6.6.3.3. Synteza kwasu tereftalowego poprzez jednostopniowe utlenianie p-ksylenu	317
6.7. Alkilowanie i winylowanie (<i>Edgar Bortel</i>)	319
6.7.1. Wprowadzenie	319
6.7.2. Alkilowanie węglowodorów aromatycznych za pomocą alkenów	320
6.7.3. Alkilowanie tlenkiem etylenu	323
6.8. Sulfonowanie (<i>Edgar Bortel</i>)	324
6.8.1. Wprowadzenie. Czynniki sulfonujące	324
6.8.2. Sulfonowanie w fazie gazowej, ciekłej i stałej	327
6.9. Chlorowanie (halogenowanie) (<i>Edgar Bortel</i>)	329
6.9.1. Wprowadzenie	329
6.9.2. Czynniki chlorujące. Termiczne, katalityczne i fotochemiczne aktywowanie procesu chlorowania	330
6.10. Nitrowanie (<i>Edgar Bortel</i>)	334
6.10.1. Wprowadzenie. Czynniki nitrujące	334
6.11. Estryfikacja i hydroliza (<i>Edgar Bortel</i>)	337
6.11.1. Wprowadzenie. Czynniki estryfikujące	337
6.11.2. Przemysłowe metody estryfikacji. Aparatura do ciągłej estryfikacji. Otrzymywanie acetylcelulozy	341
6.12. Polimeryzacja (<i>Edgar Bortel</i>)	344
6.12.1. Wprowadzenie	344
6.12.2. Warunki samorzutnego przebiegu polimeryzacji	347

6.12.3. Mechanizm i kinetyka polimeryzacji	351
6.12.4. Kopolimeryzacja rodnikowa	360
6.12.5. Techniki polimeryzacji w masie, zawiesinie, rozpuszczalniku oraz emulsji	363
6.12.6. Statyka i kinetyka polikondensacji	366
6.12.7. Przykład polikondensacji sieciującej	368
6.12.8. Przykłady polikondensacji z udziałem monomerów dwufunkcyjnych	369
6.12.9. Przykłady technologii otrzymywania polimerów o szerokim zakresie stosowania	372
7. Wybór właściwej metody otrzymywania danego produktu (Henryk Koneczny)	379
7.1. Surowce	379
7.1.1. Surowce mineralne i organiczne przemysłu chemicznego	379
7.1.2. Surowce wykorzystywane w omawianych technologiach	383
7.1.2.1. Gaz ziemny	383
7.1.2.2. Ropa naftowa	384
7.1.2.3. Chlorek sodu	385
7.1.2.4. Siarka	386
7.1.2.5. Fosforany wapna	386
7.1.2.6. Kamień wapienny, glina, piasek	386
7.1.2.7. Powietrze	387
7.1.2.8. Woda	388
7.2. Energia	390
7.2.1. Spalanie paliw naturalnych	390
7.2.1.1. Spalanie paliwa gazowego	391
7.2.1.2. Spalanie paliw ciekłych	392
7.2.1.3. Spalanie paliw stałych	392
7.2.2. Przygotowanie wody dla elektrociepłowni	394
7.2.2.1. Kamień kotłowy	394
7.2.2.2. Korozja	397
7.2.2.3. Oczyszczanie wody metodą chemiczną	397
7.2.2.4. Zmiękczenie wody za pomocą wymiennicy jonowych	399
7.3. Aparatura	400
7.4. Właściwe wykorzystywanie surowców, energii i aparatury	401
7.4.1. Zasada najlepszego wykorzystania surowców	402
7.4.2. Zasada najlepszego wykorzystania energii	406
7.4.3. Zasada najlepszego wykorzystania aparatury	408
7.5. Walka z zanieczyszczaniem środowiska przez przemysł chemiczny	411
8. Przykłady złożonych technologii z przemysłu chemicznego	414
8.1. Selektywna kataliza na przykładzie otrzymywania różnych półproduktów z gazu syntezowego (Edgar Bortel)	414
8.1.1. Gaz syntezowy – wytwarzanie i przeróbka	414
8.1.2. Katalizatory	418
8.2. Otrzymywanie różnych produktów z tego samego surowca organicznego (Edgar Bortel)	422
8.2.1. Produkty z frakcji ropy naftowej	422
8.2.2. Krakowanie termiczne – piroliza benzyn	423
8.2.2.1. Przeróbka ciekłych produktów pirolizy	429
8.2.3. Reforming katalityczny	431
8.2.4. Kraking katalityczny	434
8.2.5. Etylen $\text{CH}_2=\text{CH}_2$	436
8.2.6. Propylen $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$	441
8.2.7. Frakcja C_4	441
8.2.8. Frakcja BTK	441

8.2.9. Acetylen i produkty z niego otrzymywane	446
8.3. Otrzymywanie różnych produktów z tego samego surowca nieorganicznego (Henryk Koneczny)	448
8.3.1. Otrzymywanie sody, ługu sodowego i chloru	448
8.3.1.1. Wprowadzenie	448
8.3.1.2. Produkcja sody	448
8.3.1.3. Inne produkty sodowe	459
8.3.1.4. Produkcja ługu sodowego i chloru	461
8.3.2. Technologia krzemianów	475
8.3.2.1. Wprowadzenie	475
8.3.2.2. Produkcja szkła	476
8.3.2.3. Materiały wiążące	479
8.3.2.4. Materiały ceramiczne	486
8.4. Kompleksowe procesy technologiczne (Henryk Koneczny)	489
8.4.1. Wprowadzenie	489
8.4.2. Kwas siarkowy, kwas fosforowy i superfosfat	491
8.4.2.1. Otrzymywanie kwasu siarkowego	491
8.4.2.2. Kwas fosforowy i nawozy fosforowe	505
8.4.3. Synteza amoniaku, kwasu azotowego, saletry amonowej i mocznika	516
8.4.3.1. Otrzymywanie amoniaku	516
8.4.3.2. Otrzymywanie kwasu azotowego	534
8.4.3.3. Otrzymywanie saletry amonowej	550
8.4.3.4. Otrzymywanie mocznika	552
Skorowidz	556