

Spis rzeczy

Przedmowa do wydania piątego	9
Ważniejsze oznaczenia	10
1. Chemia spalania: mechanizmy i kinetyka	13
1.1. Pojęcia podstawowe	13
1.1.1. Atom, cząsteczka, wolne rodniki	13
1.1.2. Przemiany chemiczne, równania chemiczne	15
1.1.3. Równowaga chemiczna	15
1.1.4. Szybkość procesów chemicznych, rząd reakcji	16
1.2. Reakcje elementarne	17
1.2.1. Cząsteczkowość reakcji elementarnych	17
1.2.2. Kompleks przejściowy, energia aktywacji	17
1.2.3. Szybkość reakcji elementarnych, równanie Arrheniusa	18
1.2.4. Typy reakcji elementarnych w fazie gazowej	19
1.3. Procesy złożone	21
1.3.1. Reakcja globalna, mechanizm reakcji	21
1.3.2. Stan stacjonarny	22
1.3.3. Reakcje łańcuchowe	22
1.3.4. Kataliza, inhibicja	23
1.3.5. Reakcje z udziałem ciała stałego	24
1.3.6. Wybuch termiczny i łańcuchowy	24
1.3.7. Granice wybuchu reakcji łańcuchowych – zapłon izotermiczny	25
1.4. Mechanizmy spalania paliw w fazie gazowej	26
1.4.1. Układ $H_2 + O_2$	26
1.4.2. Utlenianie tlenku węgla	30
1.4.3. Spalanie węglowodorów	31
1.4.4. Mechanizmy reakcji w modelach kinetycznych	33
1.5. Zjawiska towarzyszące procesom spalania	34
1.5.1. Chemiluminescencja	34
1.5.2. Chemijonizacja	37
Literatura	39
2. Aerodynamika spalania	41
2.1. Strugi	42
2.1.1. Strugi proste	42
2.1.2. Strugi w przepływie	44
2.1.3. Strugi zawirowane	46
2.2. Niektóre cechy przepływów turbulentnych	49

2.2.1. Struktura przepływów turbulentnych	50
2.2.2. Turbulentne skale długości, czasu i prędkości	52
2.3. Modele turbulentnego spalania	53
2.3.1. Dyfuzja turbulentna	53
2.3.2. Gaszenie płomienia przez rozciąganie w polu przepływu	54
2.3.3. Model spalania turbulentnego z płomykami (flamelets)	55
2.3.4. Formy turbulentnego spalania	57
2.3.5. Modele rozprzestrzeniania się płomienia turbulentnego	61
2.3.6. Modele szybkości spalania turbulentnego stosowane w obliczeniach numerycznych	62
2.4. Aerodynamika swobodnych płomieni	67
2.4.1. Przejście od płomienia laminarnego do turbulentnego	67
2.4.2. Wpływ prędkości wypływu na strukturę dyfuzyjnego płomienia	69
2.4.3. Długość laminarnych płomieni dyfuzyjnych	70
2.4.4. Długość turbulentnego płomienia dyfuzyjnego	70
2.4.5. Rozkład koncentracji składników w płomieniach swobodnych	71
2.4.6. Płomienie w przepływach zawirowanych	72
2.5. Aerodynamika spalania w obszarze ograniczonym	74
2.6. Stabilizacja płomieni	76
Literatura	80
3. Spalanie paliw gazowych	81
3.1. Zapłon mieszaniny gazowej	81
3.1.1. Zapłon wymuszony	82
3.1.2. Stężeniowe granice zapłonu	85
3.2. Płomień laminarny	88
3.2.1. Wstępne wiadomości o płomieniach laminarnych	88
3.2.2. Prawo Michelsona	90
3.2.3. Uproszczona teoria propagacji laminarnego płomienia	92
3.2.4. Prędkość spalania laminarnego – wyniki doświadczalne	96
3.3. Płomień kinetyczny	101
3.4. Struktura płomieni dyfuzyjnych	103
3.5. Stabilność płomieni	107
3.5.1. Stabilność płomienia laminarnego	109
3.6. Kinetyka chemiczna utleniania metanu	111
3.7. Nowe technologie spalania, bezpłomieniowe spalanie	116
3.8. Palniki gazowe	119
Literatura	121
4. Spalanie paliw ciekłych	123
4.1. Ważniejsze czynniki kontrolujące spalanie paliw ciekłych	123
4.2. Spalanie pojedynczej kropli paliwa ciekłego	124
4.2.1. Sferyczno-symetryczny model spalania kropli	124
4.2.2. Wpływ niektórych czynników na spalanie kropli paliwa	125
4.3. Płomień rozpylonego paliwa ciekłego	128
4.3.1. Struktura płomienia	128
4.3.2. Zawirowany płomień rozpylonego paliwa ciekłego	130
4.3.3. Przekazywanie ciepła od płomienia olejowego	130

4.4. Rozpylanie paliw ciekłych	131
4.4.1. Mechanizmy rozpylania strugi cieczy	132
4.4.2. Przykłady rozpylaczy olejowych	134
4.4.3. Charakterystyki rozpylaczy	138
4.5. Palniki olejowe	140
Literatura	143
5. Spalanie węgla	145
5.1. Organizacja procesu spalania węgla	145
5.2. Spalanie pojedynczej cząstki węgla	147
5.2.1. Etapy spalania cząstki węgla	147
5.2.2. Fizykochemia spalania węgla	150
5.2.3. Szybkość spalania pozostałości koksowej	157
5.2.4. Wpływ konwekcji na szybkość spalania węgla	162
5.3. Spalanie pyłu węglowego	163
5.3.1. Płomień pyłowy	163
5.3.2. Strata niedopału w kotłach pyłowych	166
5.3.3. Palniki pyłowe	169
5.4. Spalanie w warstwie fluidalnej	174
5.4.1. Spalanie pojedynczej cząstki węgla	175
Literatura	178
Dodatek 5.1	179
6. Spalanie biomasy	181
6.1. Spalanie drewna	181
6.1.1. Mechanizm spalania drewna	181
6.1.2. Paleniska do spalania drewna	185
6.1.3. Mechanizmy zgazowania i odgazowania drewna	188
6.1.4. Emisja zanieczyszczeń podczas spalania drewna	190
6.2. Spalanie słomy	191
6.2.1. Paleniska do spalania słomy	191
6.3. Współspalanie biomasy z węglem	193
6.4. Oddziaływanie substancji nieorganicznej biomasy w palenisku	197
6.4.1. Defluidyzacja	198
6.4.2. Korozyjne oddziaływanie substancji nieorganicznej biomasy	199
Literatura	199
7. Środowiskowe aspekty procesów spalania	203
7.1. Spalanie a środowisko naturalne	203
7.2. Ważniejsze zanieczyszczenia powstające podczas spalania	205
7.2.1. Dیتlenek węgla	207
7.2.2. Tlenki azotu	208
7.2.3. Dیتlenek siarki	223
7.2.4. Tlenek węgla (czad)	228
7.2.5. Węglowodory	230
7.2.6. Dioksyiny i furany	232
7.2.7. Cząstki węgla	234
7.2.8. Popioły lotne	238
7.2.9. Aerozole i niektóre metale	241

7.3. Emisja zanieczyszczeń z niektórych urządzeń	243
7.3.1. Elektrownie węglowe	243
7.3.2. Tłokowe silniki spalinowe	243
7.3.3. Zanieczyszczenia powstające podczas spalania oleju	245
7.3.4. Koksowanie i zgazowanie węgla	246
7.3.5. Turbiny gazowe	247
7.3.6. Spalarnie odpadów	248
7.4. Niskoemisyjne techniki spalania w energetyce	249
7.4.1. Niskoemisyjne palniki pyłowe	250
7.4.2. Ograniczanie emisji NO_x przez zmianę organizacji paleniska	255
7.4.3. Negatywne skutki stosowania niskoemisyjnych technik spalania	261
7.5. Katalizatory w technice spalania i w oczyszczaniu spalin	263
7.5.1. Kataliza heterogeniczna i katalizatory	264
7.5.2. Nośniki i reaktory	265
7.5.3. Zastosowanie katalizatorów	266
Literatura	272
Dodatek 7.1. Jednostki używane do wyrażania udziałów NO_x w spalinach	276
8. Właściwości wybuchowe gazów i pyłów	277
8.1. Podstawowe określenia	277
8.2. Inicjacja wybuchu	278
8.2.1. Teoria wybuchu cieplnego	278
8.2.2. Teoria wybuchu łańcuchowego	281
8.2.3. Zapłon wymuszony	284
8.3. Stężeniowe granice wybuchu	285
8.4. Gazodynamika wybuchów	285
8.4.1. Rozwój wybuchu gazowego w małym, zamkniętym zbiorniku	286
8.4.2. Wpływ turbulencji na rozwój wybuchu	287
8.4.3. Mechanizmy utraty stabilności płomienia	289
8.4.4. Wybuchy pyłowe	292
8.4.5. Przejście od deflagracji do detonacji	293
8.5. Charakterystyki wybuchowości gazów i pyłów	295
8.5.1. Charakterystyki wybuchowości gazów i par	295
8.5.2. Charakterystyki wybuchowości pyłów	298
8.6. Ochrona przeciwwybuchowa	300
8.6.1. Zapobieganie wybuchom	300
8.6.2. Zabezpieczenia przeciwwybuchowe	301
8.7. Samozapłon węgla	307
8.8.1. Mechanizmy samonagrzewania się węgla w składowiskach	309
8.8.2. Zapobieganie samozapaleniu węgla	311
Literatura	312
9. Spalanie w niektórych urządzeniach technicznych	315
9.1. Kotły parowe	315
9.1.1. Kotły rusztowe	315
9.1.2. Kotły pyłowe	316
9.1.3. Kotły fluidalne	321
9.2. Silniki spalinowe	326

9.2.1. Tłokowe silniki spalinowe	326
9.2.2. Turbiny gazowe	333
9.3. Zgazowanie paliw stałych	339
9.3.1. Zgazowanie węgla	339
9.3.2. Podstawowe instalacje zgazowania biomasy	343
Literatura	346
10. Odpady i ich spalanie	347
10.1. Odpady	347
10.1.1. Odpady komunalne	347
10.1.2. Odpady przemysłowe	348
10.1.3. Odpady szpitalne (medyczne)	349
10.1.4. Komunalne osady ściekowe	349
10.1.5. Drewno użytkowe	351
10.1.6. Odpady niebezpieczne	352
10.1.7. Paliwa z odpadów (paliwa formowane)	353
10.2. Spalanie odpadów	355
10.2.1. Mechanizmy spalania odpadów	356
10.2.2. Warunki bezpiecznego spalania odpadów	360
10.2.3. Piroliza odpadów	363
10.2.4. Współspalanie odpadów z innymi paliwami	366
10.3. Spalarnie odpadów	369
10.3.1. Charakterystyka instalacji termicznego przekształcania odpadów	369
10.3.2. Węzły termicznej obróbki odpadów (paleniska)	371
10.3.3. Spalarnie odpadów komunalnych	378
10.3.4. Spalarnie odpadów niebezpiecznych	381
10.3.5. Rodzaje instalacji i urządzeń, w których dopuszcza się termiczne przekształcanie odpadów innych niż niebezpieczne	385
10.4. Emisja zanieczyszczeń podczas spalania odpadów	385
Literatura	387
11. Diagnostyka procesów spalania	391
11.1. Wstęp	391
11.2. Pomiar stężeń składników w płomieniu	391
11.2.1. Sonda	392
11.2.2. Chromatografia gazowa	393
11.2.3. Spektrometria masowa	398
11.2.4. Połączenie chromatografu gazowego z spektrometrem masowym	400
11.2.5. Metody spektroskopowe	400
11.2.6. Pomiar stężenia jonów i elektronów w płomieniu	404
11.3. Pomiar temperatury w płomieniu	405
11.3.1. Pomiar temperatury w płomieniu termoelementami	406
11.3.2. Termometry oporowe	409
11.3.3. Gazodynamiczna metoda pomiaru temperatury	409
11.3.4. Metody optyczne pomiaru temperatury	409
Literatura	412
12. Paliwa	413
12.1. Paliwa gazowe	413

12.1.1. Klasyfikacja paliw gazowych	413
12.1.2. Gaz ziemny	415
12.1.3. Gaz wytwarzany metodami przemysłowymi	416
12.1.4. Ważniejsze parametry gazu palnego	418
12.1.5. Zalety gazu jako paliwa	418
12.1.6. Zastosowanie gazu ziemnego	419
12.1.7. Zużycie oraz zasoby i rezerwy gazu ziemnego	419
12.2. Paliwa ciekłe	420
12.2.1. Paliwa z ropy naftowej	421
12.2.2. Paliwa ciekłe z innych surowców	426
12.2.3. Ważniejsze parametry paliwa ciekłego	429
12.2.4. Zużycie oraz zasoby ropy naftowej	430
12.3. Węgiel	430
12.3.1. Pochodzenie węgla	430
12.3.2. Petrografia węgla	431
12.3.3. Chemiczna struktura węgla	432
12.3.4. Klasyfikacja węgla	432
12.3.5. Składniki węgla	437
12.3.6. Torf	440
12.3.7. Łupki bitumiczne	441
12.3.8. Węgiel energetyczny	441
12.3.9. Występowanie węgla w Polsce	443
12.3.10. Zasoby i zużycie węgla	445
12.4. Biomasa	446
12.4.1. Pochodzenie biomasy	447
12.4.2. Zasoby biomasy	447
12.4.3. Niektóre właściwości biomasy jako paliwa	450
12.4.4. Biopaliwa	453
Literatura	456
Dodatek I. Stechiometria spalania	459
1.1. Stechiometria	459
1.2. Skład spalin	459
1.3. Zapotrzebowanie powietrza do spalania	460
1.4. Współczynnik nadmiaru powietrza i nadmiar powietrza n	461
1.5. Skład mieszanki palnej	462
Literatura	462
Dodatek II. Kaloryczność paliw	463
Literatura	467
Dodatek III. Korozja wysokotemperaturowa w kotłach pyłowych	469
Literatura	474
Skorowidz	475