

Spis treści

Przedmowa	15
Od autorów	17
Wykaz ważniejszych oznaczeń	19
1. Wpływ ujarznienia ognia przez człowieka na rozwój cywilizacyjny gatunku <i>Homo sapiens</i>. Przegląd historyczny	21
Literatura do rozdziału pierwszego	31
2. Wybuchy przemysłowe	33
Literatura do rozdziału drugiego	35
3. Własności fizykochemiczne pyłów	37
3.1. Wstęp	38
3.2. Podstawowe parametry fizyczne pyłów	39
3.2.1. Charakterystyczne średnice cząstki pyłu	39
3.2.2. Kształt cząstek pyłu	40
3.2.3. Powierzchnia cząstek pyłu	41
3.2.4. Powierzchnia właściwa cząstek pyłu	42
3.2.5. Objętość cząstek pyłu	42
3.2.6. Gęstość cząstek pyłu	43
3.2.7. Porowatość cząstek pyłu	43
3.2.8. Wilgoć i wilgotność cząstek pyłu	44
3.2.9. Stężenie pyłu w mieszaninie	45
3.2.10. Unoszenie i opadanie cząstek pyłu w powietrzu	46
3.3. Rozkłady wymiarowe cząstek pyłu	46
3.4. Analiza sitowa cząstek pyłu	49
3.5. Wpływ fizykochemicznych parametrów pyłów na ich wybuchowość	55
3.6. Podsumowanie	58
Literatura do rozdziału trzeciego	58

4. Klasyfikacja i charakterystyczne cechy procesów spalania	59
4.1. Podstawy klasyfikacji procesów spalania	61
4.2. Własności paliw i mieszanin palnych	62
4.2.1. Rodzaje paliw	62
4.2.2. Własności energetyczne mieszanin palnych	63
4.2.2.1. Spalanie zupełne i całkowite	64
4.2.2.2. Ciepło spalania i wartość opałowa	64
4.2.2.3. Zapotrzebowanie utleniacza do spalania	66
4.2.2.4. Współczynnik nadmiaru utleniacza	68
4.2.2.5. Masa i objętość spalin	69
4.2.2.6. Temperatura spalania	71
4.2.2.7. Straty spalania	74
4.2.2.8. Własności kinetyczne mieszanin palnych	75
4.2.2.9. Kryterium charakteryzujące energetyczne własności mieszanin palnych	75
4.3. Podstawy kinetyki chemicznej	76
4.4. Charakterystyczne cechy przepływów turbulentnych	81
4.5. Laminarne i turbulentne spalanie jednorodnych mieszanin gazowych	85
4.5.1. Spalanie dyfuzyjne paliw gazowych	85
4.5.1.1. Spalanie dyfuzyjne laminarne paliw gazowych	85
4.5.1.2. Spalanie dyfuzyjne turbulentne paliw gazowych	86
4.5.2. Spalanie kinetyczne mieszanin gazowych	88
4.5.2.1. Spalanie kinetyczne laminarne paliw gazowych	88
4.5.2.2. Kinetyczne płomienie turbulentne	90
4.5.3. Normalna prędkość spalania	91
4.5.4. Zakres stabilnej pracy palników	94
4.5.5. Kinetyczno-dyfuzyjne spalanie mieszanin gazowych	95
4.5.6. Spalanie turbulentne jednorodnych mieszanin gazowych	96
4.5.6.1. Powierzchniowy model spalania turbulentnego	99
4.5.6.2. Objętościowy model spalania turbulentnego	101
4.5.6.3. Mikroobjętościowy model spalania turbulentnego	102
4.5.6.4. Współczesne teorie płomieni turbulentnych	105
4.6. Wnioski	107
Literatura do rozdziału czwartego	108
5. Źródła zapłonu mieszanin palnych	109
5.1. Wstęp	110
5.2. Iskra elektryczna	110
5.2.1. Wyznaczanie energii wyładowania iskrowego	112
5.2.2. Wpływ fali ciśnieniowej na proces zapłonu mieszanin heterogenicznych	116
5.3. Eksplozja cienkiego drutu oporowego	124
5.4. Wyładowania elektrostatyczne	125
5.4.1. Źródła elektryczności statycznej	126
5.4.2. Rodzaje wyładowań elektrostatycznych	128
5.4.3. Zwalczanie elektryczności statycznej	130
5.5. Iskry mechaniczne	133

5.5.1. Rodzaje iskier mechanicznych	133
5.6. Rozgrzane i rozżarzone powierzchnie.	135
5.7. Zapłon dyfuzyjny od fali uderzeniowej	138
5.8. Promieniowanie świetlne i ciepłe	139
5.9. Otwarty płomień	140
5.10. Wnioski	140
Literatura do rozdziału piątego	141
6. Zapłon i spalanie pojedynczych ziaren paliwa stałego	143
6.1. Wstęp	144
6.2. Rozkład termiczny węgla	145
6.3. Zapłon i spalanie substancji lotnych	146
6.4. Zapłon i heterogeniczne spalanie węgla	148
6.5. Zapłon ziarna i propagacja płomienia pomiędzy pojedynczymi ziarnami paliwa stałego	153
6.5.1. Badania prowadzone w warunkach ziemskiej grawitacji.	153
6.5.2. Przebieg procesów zapłonu i spalania ziaren węgla w warunkach ziemskiej grawitacji	162
6.5.3. Fizyczny i matematyczny model procesu zapłonu ziaren węgla	167
6.5.3.1. Fizyczny model procesu	167
6.5.3.2. Matematyczny model procesu	169
6.5.3.3. Wyniki obliczeń	172
6.5.4. Zapłon pojedynczych ziaren węgla w obecności metanu.	178
6.5.5. Teoretyczna analiza procesu zapłonu ziarna węgla w płomieniu.	184
6.5.6. Podsumowanie i wnioski	186
Literatura do rozdziału szóstego	191
7. Dynamika podrywania pyłów osiadłych przez propagującą falę uderzeniową i w ciągłym przepływie powietrza	195
7.1. Wstęp	197
7.2. Badanie mechanizmu podrywania pyłu z warstwy przez propagującą falę uderzeniową	200
7.2.1. Stanowiska badawcze i metody pomiarowe	200
7.2.1.1. Pomiar stężenia pyłu w mieszaninie pyłowo-powietrznej z wykorzystaniem lasera	203
7.2.1.2. Kalibracja układu pomiarowego	206
7.2.1.3. Stanowisko do nanoszenia cienkiej warstwy pyłu na metalową wkładkę	209
7.2.1.4. System akwizycji danych	211
7.2.1.5. Wizualizacja procesu podrywania pyłu z warstwy przez propagującą falę uderzeniową	212
7.2.2. Badania eksperymentalne procesu podrywania pyłu z warstwy przez propagującą falę uderzeniową	213
7.2.2.1. Wprowadzenie	213
7.2.2.2. Pyły wykorzystywane w badaniach	215
7.2.2.3. Metodologia badań	217

7.2.3. Wyniki badań eksperymentalnych	218
7.2.3.1. Dynamika podrywania cząstek pyłu z warstw cienkich	218
7.2.3.1.1. Czas opóźnienia poderwania cząstek pyłu z warstwy ..	218
7.2.3.1.2. Określenie składowej pionowej prędkości unoszenia chmury pyłu	231
7.2.3.1.3. Pomiar stężenia pyłu w chmurze	233
7.2.3.1.4. Obecność przeszkody w przepływie	238
7.2.4. Dynamika podrywania cząstek pyłu z warstw grubych	242
7.2.4.1. Opóźnienie podrywania pyłu określone na podstawie zdjęć kadrowych	243
7.2.4.2. Opóźnienie podrywania pyłu określone na podstawie zdjęć rozwiniętych	251
7.2.4.3. Opóźnienie poderwania pyłu określone za pomocą układu laserowego	252
7.2.4.4. Składowa pionowa prędkości chmury pyłu	256
7.3. Badanie mechanizmu podrywania pyłu z warstwy w ciągłym przepływie powietrza	261
7.3.1. Wyniki uzyskane dla pyłu węgla	262
7.3.2. Wyniki uzyskane dla pyłu lnu	272
7.3.3. Wyniki uzyskane dla pyłu skrobi ziemniaczanej	275
7.4. Wnioski i podsumowanie badań eksperymentalnych	278
7.5. Modelowanie przepływu mieszaniny pyłowo-gazowej	282
7.5.1. Przepływ fazy gazowej	283
7.5.2. Przepływ fazy stałej	284
7.5.2.1. Ujęcie Eulera – model ciągły	285
7.5.2.2. Ujęcie Lagrange’a	286
7.5.3. Oddziaływania międzyfazowe	286
7.5.3.1. Wymiana pędu – siły aerodynamiczne	286
7.5.3.2. Wymiana energii przez przejmowanie ciepła	288
7.5.4. Zastosowany model przepływu mieszaniny pyłowo-powietrznej, podsumowanie	289
7.5.5. Modelowanie procesu unoszenia pyłu z warstwy	291
7.5.5.1. Empiryczny model warstwy pyłu	291
7.5.5.2. Siła Saffmana	294
7.5.5.3. Siła Magnusa	294
7.5.5.4. Zderzenia cząstek pyłu	295
7.5.6. Wyniki obliczeń numerycznych	296
7.5.6.1. Modelowane zagadnienie	296
7.5.6.2. Obliczenia wykonane za pomocą opracowanego kodu bez uwzględnienia zderzeń cząstek pyłu oraz sił Saffmana i Magnusa	296
7.5.6.3. Wpływ siły Saffmana na proces unoszenia pyłu z warstwy	304
7.5.6.4. Wpływ siły Magnusa na proces unoszenia pyłu z warstwy	305
7.5.6.5. Wpływ zderzeń cząstek pyłu na proces unoszenia pyłu z warstwy	306
7.6. Podsumowanie i wnioski końcowe	312
7.7. Podziękowania	315
Literatura do rozdziału siódmego	316

8. Zapłon i spalanie mieszanin pyłowo – powietrznych i hybrydowych	319
8.1. Ogólna charakterystyka mieszanin pyłowo-gazowych	321
8.2. Zapłon i spalanie mieszanin pyłowo-gazowych	323
8.2.1. Wyznaczanie energii aktywacji pyłów organicznych w różnych warunkach początkowych	326
8.2.2. Analiza procesu zapłonu ziaren węgla w płomieniu	331
8.3. Badanie procesu zapłonu mieszanin pyłowo-powietrznych	336
8.3.1. Zapłon od iskry elektrycznej	339
8.3.2. Zapłon od łuku elektrycznego	351
8.3.3. Zapłon od gorącej powierzchni	353
8.3.4. Podsumowanie	358
8.4. Propagacja i struktura płomienia w mieszaninach gazów i pyłu z powietrzem ...	359
8.4.1. Stanowisko badawcze	360
8.4.2. Badanie propagacji i struktury płomienia w mieszaninach gazowych, hybrydowych i pyłowych	362
8.4.2.1. Pomiar temperatury płomienia	362
8.4.2.2. Pomiar prędkości propagacji i analiza struktury płomienia	366
8.4.2.3. Laminarna i turbulentna prędkość spalania mieszanin pyłowo-powietrznych	377
8.4.2.3.1. Laminarna prędkość spalania mieszanin pyłowo-powietrznych	378
8.4.2.3.2. Turbulentna prędkość spalania mieszanin pyłowo-powietrznych	386
8.4.2.4. Wpływ stężenia pyłu w mieszaninie na proces propagacji płomienia	391
8.4.2.5. Wpływ geometrii przekroju poprzecznego pionowego kanału na proces propagacji płomienia w mieszaninie pyłowo-powietrznej	394
8.4.3. Mechanizm powstawania zawirowań w płomieniu pyłowo-powietrznym ..	395
8.4.3.1. Model fizyczny procesu	396
8.4.3.2. Model matematyczny procesu	397
8.4.4. Rola konwekcji swobodnej w procesie spalania mieszanin pyłowo-powietrznych	400
8.4.4.1. Metoda prowadzenia badań	400
8.4.4.2. Prędkość propagacji i struktura płomienia w mieszaninach pyłowych, hybrydowych i gazowych	402
8.4.4.2.1. Badania z wykorzystaniem pyłu węgla brunatnego i metanu	402
8.4.4.2.2. Badania z wykorzystaniem pyłu owsa i metanu	409
8.4.4.2.3. Badania z wykorzystaniem metanu	415
8.4.4.2.4. Wpływ grawitacji na wygaszanie płomienia	419
8.4.5. Mechanizm propagacji płomieni pyłowych i hybrydowych w kanałach pionowych. Podsumowanie wyników badań	420
8.4.6. Turbulentne spalanie mieszanin gazowych, hybrydowych i pyłowych w strudze swobodnej	425
8.4.6.1. Stanowisko badawcze i metody pomiarowe	426

8.4.6.2. Wyniki badań	428
8.4.6.3. Wnioski	441
8.4.7. Propagacja płomienia gazowego w obecności cząstek neutralnych	441
8.4.7.1. Stanowisko badawcze i metody pomiarowe	442
8.4.7.2. Badanie swobodnego opadania ziaren piasku w pionowym kanale pomiarowym	442
8.4.7.3. Przyspieszanie płomienia i zmiana jego struktury w obecności cząstek neutralnych	444
8.4.7.4. Wyniki badań numerycznych	449
8.4.7.5. Dyskusja wyników	558
8.5. Podsumowanie i wnioski	460
Literatura do rozdziału ósmego	462
9. Dynamika rozwoju wybuchu w mieszaninach gazowych, hybrydowych i pyłowych	469
9.1. Wstęp	472
9.2. Klasyfikacja wybuchów	473
9.2.1. Wybuch punktowy	475
9.2.2. Wybuch cieplny – cieplna teoria samozapłonu	477
9.2.3. Łańcuchowa teoria samozapłonu	481
9.2.4. Wybuch detonacyjny	485
9.2.4.1. Wprowadzenie	485
9.2.4.2. Analiza procesu inicjowania spalania detonacyjnego	487
9.2.4.3. Podstawy gazodynamiki spalania	492
9.2.4.3.1. Krzywa Rankina-Hugoniota	494
9.2.4.3.2. Stabilność i struktura detonacji	496
9.2.4.3.3. Spalanie detonacyjne w ośrodkach dwufazowych	504
9.2.5. Wybuchy naturalne, zamierzone i przypadkowe	507
9.2.5.1. Wybuchy naturalne	507
9.2.5.2. Wybuchy zamierzone	508
9.2.5.3. Wybuchy przypadkowe	509
9.2.6. Kryteria klasyfikacji wybuchów mieszanin palnych	512
9.2.7. Podstawowe parametry wybuchu	514
9.2.7.1. Dolna i górna granica spalania / wybuchowości	514
9.2.7.1.1. Metody określania dolnej granicy wybuchowości DGW	516
9.2.7.1.2. Wyznaczanie dolnej granicy wybuchowości DGW	519
9.2.7.1.3. Fizyczna interpretacja dolnej granicy wybuchowości DGW	520
9.2.7.1.4. Nieprawidłowości popełniane przy wyznaczaniu dolnej granicy wybuchowości DGW	522
9.2.7.2. Minimalna energia zapłonu	524
9.2.7.3. Optymalne stężenie wybuchowe	524
9.2.7.4. Maksymalne ciśnienie wybuchu i maksymalna szybkość narastania ciśnienia wybuchu	525
9.2.7.5. Wskaźnik wybuchowości K_{st}	530

9.2.7.6. Minimalna dawka wybuchowa	532
9.2.7.6.1. Obliczanie wartości minimalnej dawki wybuchowej ...	534
9.2.7.7. Wskaźniki zapalności	536
9.3. Metody badania wybuchów pyłów przemysłowych	537
9.3.1. Wprowadzenie	537
9.3.2. Stanowiska badawcze i metodyka badań	538
9.3.2.1. Komora wybuchowa o objętości 20 dm ³	541
9.3.2.2. Komora wybuchowa o objętości 1,25 m ³	543
9.3.2.3. Pomiar prędkości propagacji płomienia wybuchu	546
9.3.2.4. Pomiar turbulencji w komorze wybuchowej	548
9.3.3. Badanie procesu wybuchu mieszanin pyłów-powietrznych i gazowych w komorze o objętości 1,25 m ³	548
9.3.3.1. Charakterystyka badanych pyłów	549
9.3.3.2. Wyznaczanie optymalnych parametrów procesu dyspersji pyłu w komorze wybuchowej	551
9.3.3.3. Wpływ parametrów początkowych mieszaniny pyłowo-powietrznej na dynamikę wybuchu	552
9.3.3.3.1. Wpływ parametrów cząstek pyłu na dynamikę rozwoju wybuchu	552
9.3.3.3.2. Wpływ stężenia pyłu i stężenia tlenu w mieszaninie na dynamikę rozwoju wybuchu	553
9.3.3.3.3. Wpływ turbulencji początkowej mieszaniny pyłowo-powietrznej na dynamikę rozwoju wybuchu	556
9.3.3.4. Wizualizacja procesu wybuchu w komorze o objętości 1,25 m ³	577
9.3.3.5. Pomiar szybkości nagrzewania się komory podczas wybuchu	579
9.3.3.6. Podsumowanie wyników badań eksperymentalnych	581
9.3.4. Modelowanie numeryczne procesu wybuchu	582
9.3.4.1. Wprowadzenie	582
9.3.4.2. Procesy w fazie gazowej	584
9.3.4.3. Procesy w fazie pyłowej	584
9.3.4.4. Wyniki obliczeń	585
9.3.4.5. Podsumowanie wyników obliczeń	597
9.3.5. Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń	597
9.3.6. Podsumowanie i wnioski	599
9.3.7. Procesy pirolizy zachodzące podczas wybuchu mieszaniny pyłowo-powietrznej	600
9.3.7.1. Wyniki przeprowadzonych badań	602
9.3.7.2. Podsumowanie	609
9.3.8. Wybuchy mieszanin gazowych	609
9.3.8.1. Stanowisko badawcze	610
9.3.8.2. Wyniki przeprowadzonych badań	611
9.3.8.3. Wpływ temperatury początkowej mieszaniny gazowo-powietrznej na parametry wybuchu	621
9.3.8.4. Podsumowanie	625

9.4. Przyspieszanie płomienia	626
9.4.1. Badanie procesu detonacji przy wykorzystaniu rur i kanałów detonacyjnych	627
9.4.1.1. Zapłon pojedynczych cząstek pyłu od fali uderzeniowej	627
9.4.1.2. Badania wykonane w krótkich pionowych rurach detonacyjnych	629
9.4.1.2.1. Badania przeprowadzone w pionowej krótkiej rurze detonacyjnej z niskoenergetycznym źródłem zapłonu ...	630
9.4.1.2.2. Badania przeprowadzone w krótkiej rurze detonacyjnej z wysokoenergetycznym źródłem zapłonu	638
9.4.1.2.3. Podsumowanie	640
9.4.1.3. Badanie spalania detonacyjnego przy wykorzystaniu długiej pionowej rury detonacyjnej	640
9.4.1.4. Pozioma rura detonacyjna z pyłem ułożonym w ścieżce pyłowej	654
9.4.1.5. Badania prowadzone w podziemnej galerii Kopalni Doświadczalnej „Barbara” w Mikołowie	658
9.4.1.6. Podsumowanie	662
Literatura do rozdziału dziewiątego	665
10. Metody tłumienia wybuchów przemysłowych	673
10.1. Wstęp	676
10.2. Pasywne metody ochrony przeciwybuchowej	677
10.2.1. Inertyzacja pyłu osiadłego	677
10.2.1.1. Wpływ dodatku pyłu neutralnego na proces tłumienia wybuchu palnych mieszanin pyłowo-powietrznych	678
10.2.1.2. Własności fizykochemiczne proszków gaśniczych	681
10.2.1.3. Wpływ dodatku proszku gaśniczego na proces tłumienia wybuchu palnych mieszanin pyłowo-powietrznych	683
10.2.2. Otwory dekompresyjne	685
10.2.3. Zapory przeciwybuchowe	694
10.3. Mechanizm oddziaływania mgły wodnej i innych środków gaśniczych na wybuchy mieszanin gazowych i pyłowych	700
10.3.1. Badania eksperymentalne oddziaływania kropeł wody i ziaren materiału gaśniczego na płomień gazowy i pyłowy	701
10.3.2. Obliczanie szybkości parowania kropeł wody	710
10.3.3. Badanie oddziaływania rozpylonej wody na płomień gazowy	717
10.3.4. Oddziaływanie rozpylonej wody i ziaren proszków gaśniczych na spalanie wybuchowe mieszanin pyłowo-powietrznych	720
10.3.4.1. Badania eksperymentalne oddziaływania rozproszonych materiałów gaśniczych na proces rozwoju wybuchu mieszanin pyłowo-powietrznych	722
10.3.5. Podsumowanie	729

10.4. Aktywne metody tłumienia wybuchów przemysłowych	730
10.4.1. Automatyczne zapory przeciwwybuchowe	731
10.4.2. Superszybkie automatyczne aktywne systemy tłumienia wybuchów w przestrzeni zamkniętej	734
10.4.2.1. Superszybki automatyczny aktywny system tłumienia wybuchów przemysłowych oparty na wykorzystaniu ładunków kumulacyjnych zawierających plastyczne materiały wybuchowe	739
10.4.2.1.1. Stanowisko badawcze i konstrukcja gaśnicy ...	739
10.4.2.1.2. Ładunek kumulacyjny wykorzystujący różne plastyczne materiały wybuchowe	743
10.4.2.1.3. Pomiar ciśnienia podczas eksplozji ładunku kumulacyjnego	748
10.4.2.1.4. Rozpylanie materiału gaśniczego w przestrzeni otwartej przy wykorzystaniu ładunku kumulacyjnego i sprężonego azotu	749
10.4.2.1.5. Badanie efektywności działania systemu tłumiącego w komorze wybuchowej o objętości 1,25 m ³	752
10.4.2.2. Superszybki automatyczny aktywny system tłumienia wybuchów przemysłowych oparty na generatorach gazu wykorzystujących ładunki pirotechniczne	754
10.4.2.2.1. Opracowanie generatora gazu opartego na ładunku pirotechnicznym	755
10.4.2.2.2. Optymalizacja geometrii membrany	757
10.4.2.2.3. Budowa gaśnicy o pojemności 2 dm ³ wykorzystującej generator gazu oparty na ładunku pirotechnicznym i ocena skuteczności działania systemu tłumienia wybuchu	758
10.4.2.2.4. Testowanie ładunków pirotechnicznych w komorze wybuchowej o objętości 1,25 m ³ ..	760
10.4.2.3. Superszybki automatyczny aktywny system tłumienia wybuchów przemysłowych oparty na generatorach gazu wykorzystujących ładunki prochowe	763
10.4.2.3.1. Wpływ drgań instalacji chronionej na efektywność tłumienia wybuchów przy wykorzystaniu proszków gaśniczych.	772
10.4.2.3.2. Modyfikacja konstrukcji gaśnicy wykorzystującej wstępnie zbrylony proszek gaśniczy i wyniki badań procesu tłumienia wybuchu przeprowadzonych po modyfikacji	774
10.4.2.4. Opracowanie superszybkich automatycznych aktywnych systemów tłumienia wybuchów przemysłowych o pojemności gaśnicy 5 dm ³	785
10.4.2.4.1. Podsumowanie	789
10.4.2.5. Badanie tłumienia wybuchów w mieszaninach metanowo-powietrznych	789

10.4.2.6. Opracowanie superszybkich automatycznych aktywnych systemów tłumienia wybuchów przemysłowych o pojemności gaśnicy 10 dm ³	793
10.4.2.6.1. Optymalizacja masy i geometrii wykorzystywanych generatorów gazu	793
10.4.2.6.2. Badania poligonowe procesu rozpylania materiału gaśniczego	796
10.4.2.6.3. Sprawdzenie skuteczności działania systemu tłumiącego o pojemności gaśnicy 10 dm ³ w komorze wybuchowej o objętości 5 m ³	801
10.4.2.7. Podsumowanie	804
10.4.2.8. Testowanie opracowanych systemów gaśniczych w warunkach przemysłowych	806
10.4.2.8.1. Tłumienie wybuchu w prototypowym suchym odpylaczu górniczym	807
10.4.2.8.2. Tłumienie wybuchu metanu w warunkach kopalnianych	811
10.4.2.9. Modelowanie matematyczne procesu tłumienia wybuchów przemysłowych	815
10.4.2.9.1. Modelownie matematyczne procesu tłumienia wybuchów pyłowych przy wykorzystaniu proszków gaśniczych	816
10.4.2.9.2. Modelowanie matematyczne procesu tłumienia wybuchów pyłowych przy wykorzystaniu wody	830
10.5. Podsumowanie i wnioski	846
Literatura do rozdziału dziesiątego	848
11. Metody optyczne wizualizacji i rejestracji procesów spalania	853
11.1. Wprowadzenie	854
11.2. Metody wizualizacji procesów spalania	854
11.2.1. Dyspersja światła	854
11.2.2. Wizualizacja procesów spalania przy wykorzystaniu smugoskopu optycznego	855
11.2.2.1. Zakres działania i czułość smugoskopu	856
11.2.3. Wizualizacja procesów spalania przy wykorzystaniu interferometru	860
11.2.3.1. Interferometr Michelsona	862
11.2.3.2. Interferometr Macha-Zehndera	864
11.2.4. Rejestracja procesów szybkozmiennych	866
11.2.4.1. Wykonywanie zdjęć kadrowych	866
11.2.4.2. Techniki wykonywania rozwinięć czasowych	875
11.2.4.3. Techniki wykonywania zdjęć skompensowanych	882
11.2.5. Podsumowanie	885
Literatura do rozdziału jedenastego	885
Autorzy	887