

Przedmowa do wydania siódmego	xv
Wykaz ważniejszych oznaczeń	xvii
Ważniejsze symbole używane w schematach	xix
1. Wstęp – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik	1
1.1. Rozwój krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną	1
1.2. Klasyfikacja elektrowni i podstawowe wielkości charakteryzujące moc elektrowni	2
1.3. Stan elektrowni i kierunki ich rozwoju w kraju i na świecie	6
1.4. Organizacja elektroenergetyki krajowej	16
Literatura do rozdziału 1	18
2. Obiegi ciepłe elektrowni parowych kondensacyjnych i elektrociepłowni – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik	19
2.1. Proces technologiczny elektrowni parowej kondensacyjnej	19
2.2. Sprawność obiegu cieplnego elektrowni kondensacyjnej	21
2.2.1. Właściwości czynnika roboczego	21
2.2.2. Sprawności obiegów teoretycznych	24
2.3. Sprawność elektrowni i bloków kondensacyjnych	27
2.4. Wskaźniki zużycia pary, ciepła i paliwa w elektrowni kondensacyjnej	30
2.5. Zwiększenie sprawności obiegu cieplnego elektrowni kondensacyjnej	32
2.5.1. Sposoby zwiększenia sprawności obiegu Rankine’a	32
2.5.2. Wpływ parametrów czynnika roboczego	32
2.5.3. Międzystopniowe przegrzewanie pary	35
2.5.4. Regeneracyjne podgrzewanie wody zasilającej	39
2.5.5. Wykorzystanie ciepła spalin	48
2.6. Obiegi ciepłe elektrociepłowni	49
Literatura do rozdziału 2	56

3.	Kotły parowe – prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk	57
3.1.	Ogólna klasyfikacja kotłów	57
3.2.	Wielkości charakterystyczne kotłów	57
3.3.	Instalacja kotłowa	58
3.4.	Zasada działania i budowa kotła	60
3.5.	Paliwo	63
3.6.	Obliczenia stechiometryczne	67
3.6.1.	Reakcje chemiczne spalania	67
3.6.2.	Zapotrzebowanie na powietrze do spalania	68
3.6.3.	Jednostkowe ilości spalin	69
3.7.	Sprawność i straty cieplne w kotle	70
3.7.1.	Sprawność kotła	70
3.7.2.	Straty cieplne w kotle	71
3.7.3.	Kontrola procesu spalania	72
3.7.4.	Przeliczanie stężenia związków szkodliwych	74
3.8.	Spalanie paliwa stałego	75
3.9.	Paleniska	77
3.9.1.	Podział palenisk	77
3.9.2.	Paleniska warstwowe (rusztowe)	77
3.9.3.	Paleniska pyłowe	80
3.10.	Młyny i instalacje młynowe	89
3.10.1.	Wstęp	89
3.10.2.	Instalacje młynowe	90
3.10.3.	Młyny miazdząco-udarowe (bębnowo-kulowe)	93
3.10.4.	Młyny miazdzące	94
3.10.5.	Młyny udarowe (wentylatorowe)	96
3.11.	Przepływ powietrza i spalin przez kocioł	97
3.11.1.	Schemat przepływu i rozkład ciśnienia powietrza i spalin w kotle	97
3.11.2.	Wentylatory	99
3.11.3.	Regulacja wydajności wentylatorów	101
3.12.	Układy wodno-parowe kotłów	103
3.12.1.	Wstęp	103
3.12.2.	Uproszczony opis zjawisk zachodzących podczas wytwarzania pary	104
3.12.3.	Podział kotłów energetycznych	106
3.12.4.	Rodzaje obiegów wodnych	107
3.12.5.	Uprozczone zależności matematyczne	107
3.12.6.	Kotły walczakowe	112
3.12.7.	Kotły bezwalczakowe	114
3.13.	Powierzchnie ogrzewalne	119
3.13.1.	Ekran	119
3.13.2.	Przegrzewacze pary	120
3.13.3.	Podgrzewacze wody	122
3.13.4.	Podgrzewacze powietrza	123
3.14.	Przykłady kotłów parowych	127
3.14.1.	Kocioł walczakowy rusztowy OR-32	127
3.14.2.	Kocioł walczakowy pyłowy OP-650	128

3.14.3.	Kocioł bezwalczakowy BB-1150	130
3.14.4.	Ważniejsze cechy kotłów o sylwetce jedno- i dwuciągowej	132
3.15.	Rozruch kotłów parowych	132
3.16.	Tendencje w technice kotłowej. Zagadnienia wybrane	135
3.16.1.	Wstęp	135
3.16.2.	Powstawanie tlenków azotu	135
3.16.3.	Niskoemisyjne spalanie pyłu	138
3.16.4.	Paleniska fluidalne	145
3.16.5.	Podsumowanie	153
3.17.	Oczyszczanie spalin	154
3.17.1.	Wstęp	154
3.17.2.	Odpylanie spalin	158
3.17.3.	Odsiarczanie spalin	168
3.17.4.	Odazotowanie spalin	180
3.17.5.	Wyprowadzenie spalin do atmosfery	181
	Literatura do rozdziału 3	183
4.	Turbiny parowe – prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk	185
4.1.	Wstęp	185
4.2.	Zasada pracy akcyjnych i reakcyjnych stopni turbiny	186
4.3.	Ogólna charakterystyka turbin	192
4.3.1.	Turbina jednostopniowa	192
4.3.2.	Turbina akcyjna	193
4.3.3.	Turbina reakcyjna	194
4.3.4.	Stosowane układy stopni turbin	196
4.4.	Podział turbin	199
4.4.1.	Czynniki podziału turbin	199
4.4.2.	Podział turbin ze względu na liczbę kadłubów, wylotów pary i wałów	200
4.4.3.	Podział turbin ze względu na specyfikę konstrukcji	202
4.4.4.	Podział turbin w zależności od sposobu realizacji obiegu cieplnego	205
4.4.5.	Podział turbin ze względu na ich udział w pokrywaniu obciążeń dobowych	206
4.5.	Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych turbin produkowanych w Polsce	207
4.5.1.	Podstawowe parametry wybranych turbin	207
4.5.2.	Turbina upustowo-przeciwprężna typu 9UP25	208
4.5.3.	Turbina kondensacyjna typu 13K215	208
4.5.4.	Turbina kondensacyjna typu 18K360	211
4.5.5.	Turbina kondensacyjna typu 4CK465 dla elektrowni jądrowej WWER 440	211
4.6.	Straty w turbinie i sprawność	212
4.6.1.	Wstęp	212
4.6.2.	Straty wewnętrzne	212
4.6.3.	Straty zewnętrzne	215
4.7.	Regulacja turbin	216
4.7.1.	Wiadomości ogólne	216
4.7.2.	Sposoby regulacji turbin	218
4.7.3.	Układy regulacji turbin	221

4.7.4.	Układy zabezpieczeń turbin	230
4.8.	Instalacja olejowa turbozespołu	230
4.9.	Urządzenia skraplające turbin	232
4.9.1.	Zadania i zasady działania	232
4.9.2.	Zależności matematyczne i wielkości charakterystyczne	235
4.10.	Proces uruchamiania i odstawiania turbin kondensacyjnych	238
	Literatura do rozdziału 4	239

5. Układy ciepłe elektrowni i elektrociepłowni parowych – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik 241

5.1.	Wiadomości ogólne	241
5.2.	Typowy układ cieplny bloku kondensacyjnego	242
5.3.	Elementy układów cieplnych	245
5.3.1.	Wymienniki ciepła	245
5.3.2.	Rozprężacze i stacje redukcyjno-schładzające	253
5.3.3.	Pompy wody zasilającej	254
5.4.	Układy ciepłe elektrociepłowni	260
5.4.1.	Czynniki kształtujące układ cieplny elektrociepłowni	260
5.4.2.	Układy elektrociepłowni przemysłowych	264
5.4.3.	Układy elektrociepłowni miejskich	266
5.5.	Układy rozruchowo-zabezpieczające	270
	Literatura do rozdziału 5	273

6. Gospodarka paliwowa – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik 275

6.1.	Nawęglanie	275
6.1.1.	Schematy układów nawęglania	275
6.1.2.	Dostawa i rozładunek węgla	275
6.1.3.	Składy węgla i urządzenia do ich obsługi	280
6.1.4.	Urządzenia do transportu węgla na terenie elektrowni	282
6.1.5.	Zasobniki przykotłowe	284
6.1.6.	Urządzenia uzupełniające	284
6.1.7.	Gospodarka paliwem ciekłym	285
6.2.	Odpopielanie	286
6.2.1.	Charakterystyka popiołu i sposoby odpopielania	286
6.2.2.	Odpopielanie mechaniczne	287
6.2.3.	Odpopielanie hydrauliczne	288
6.2.4.	Odpopielanie pneumatyczne	290
6.2.5.	Mokre składowiska popiołu	294
	Literatura do rozdziału 6	296

7.	Gospodarka wodna – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik	297
7.1.	Zapotrzebowanie na wodę przez elektrownię	297
7.2.	Źródła i układy wody chłodzącej	299
7.2.1.	Wiadomości ogólne	299
7.2.2.	Otwarte obiegi chłodzenia	300
7.2.3.	Zamknięte obiegi chłodzenia	302
7.2.4.	Chłodnie kominowe i wentylatorowe	305
7.2.5.	Pompy wody chłodzącej	311
7.3.	Suche chłodnie i skraplacze powietrzne	312
7.4.	Uzdatnianie wody do obiegu parowego i chłodzącego	314
7.4.1.	Podstawowe właściwości wody w obiegu parowym	314
7.4.2.	Uzdatnianie wody do obiegu parowego	316
7.4.3.	Uzdatnianie wody do obiegu chłodzenia	320
7.4.4.	Techniki membranowe w przygotowaniu wody do obiegu w elektrowniach Literatura do rozdziału 7	322 324
8.	Turbogeneratory i układy elektryczne w elektrowniach parowych – prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk	325
8.1.	Generatory synchroniczne	325
8.1.1.	Opis ogólny	325
8.1.2.	Parametry charakteryzujące pracę generatorów synchronicznych	326
8.1.3.	Straty ciepłone i sprawność generatora	331
8.1.4.	Chłodzenie turbogeneratorów	333
8.2.	Źródła, układy wzbudzenia i układy do regulacji parametrów generatora	343
8.2.1.	Wstęp	343
8.2.2.	Źródła i układy wzbudzenia	345
8.2.3.	Układy regulacji generatora	348
8.2.4.	Przyłączenie generatora do pracy równoległej	351
8.3.	Układ elektryczny elektrowni	352
8.3.1.	Wstęp	352
8.3.2.	Wyprowadzenie mocy do rozdzielnic	353
8.3.3.	Transformatory blokowe, zaczepowe i sprzęgające	355
8.3.4.	Ogólna charakterystyka przyrządów rozdzielczych w układzie elektrycznym elektrowni	357 359
8.3.5.	Struktury rozdzielnic	359
8.3.6.	Podstawowe układy elektryczne elektrowni. Rola rozłącznika generatorowego	362
8.3.7.	Przykłady schematów podstawowych układów elektrycznych elektrowni Literatura do rozdziału 8	364 371
9.	Potrzeby własne elektrowni parowych – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik	373
9.1.	Wpływ urządzeń potrzeb własnych na pracę elektrowni	373
9.2.	Podstawowe rodzaje urządzeń	374

9.3.	Zapotrzebowanie na moc i zużycie energii przez urządzenia potrzeb własnych	374
9.3.1.	Wprowadzenie	374
9.3.2.	Pompy wody zasilającej	376
9.3.3.	Pompy wody chłodzącej	377
9.3.4.	Wentylatory kotłowe	377
9.3.5.	Młyny węglowe	379
9.3.6.	Urządzenia gospodarki paliwowej	380
9.3.7.	Inne odbiorniki potrzeb własnych	380
9.4.	Napędy elektryczne urządzeń potrzeb własnych	380
9.5.	Zasilanie urządzeń potrzeb własnych elektrowni parowych	384
9.5.1.	Wiadomości ogólne	384
9.5.2.	Układy zasilania podstawowego urządzeń potrzeb własnych	385
9.5.3.	Układy zasilania rezerwowego	390
9.5.4.	Zasilanie urządzeń potrzeb własnych ogólnych elektrowni	392
9.5.5.	Zasilanie urządzeń potrzeb własnych niskiego napięcia	392
9.5.6.	Układy zasilania urządzeń potrzeb własnych elektrociepłowni	395
9.5.7.	Parametry układu zasilania urządzeń potrzeb własnych	395
9.6.	Źródła niezawodnego zasilania	396
9.7.	Samoczynne przełączanie źródeł zasilania	399
	Literatura do rozdziału 9	404

10. Automatykacja w elektrowniach parowych

	– <i>prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk</i>	405
10.1.	Wprowadzenie. Cel automatyzacji elektrowni	405
10.2.	Blok energetyczny jako obiekt regulacji wybranych parametrów	407
10.3.	Blokady i zabezpieczenia technologiczne bloku	413
10.4.	Systemy informatyczne i systemy sterowania pracą bloku energetycznego	414
10.5.	Nastawnie blokowe i technologiczne	419
10.6.	Podsumowanie	422
	Literatura do rozdziału 10	425

11. Elektrownie jądrowe – *prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik* **427**

11.1.	Energia reakcji jądrowych	427
11.2.	Reakcje rozszczepienia jąder pierwiastków ciężkich	429
11.3.	Zasada działania i budowa reaktorów	431
11.3.1.	Wiadomości ogólne	431
11.3.2.	Reaktory termiczne	432
11.3.3.	Reaktywność, regulacja mocy reaktora	435
11.3.4.	Reaktory prędkie	437
11.4.	Układy cieplne elektrowni jądrowych z reaktorami różnych typów	438
11.4.1.	Przegląd reaktorów energetycznych	438
11.4.2.	Elektrownie z ciśnieniowymi reaktorami wodnymi	439
11.4.3.	Elektrownie z reaktorami z wrzącą wodą	441
11.4.4.	Elektrownie z reaktorami gazowymi i wysokotemperaturowymi	443

11.4.5.	Elektrownie z reaktorami prędkimi	446
11.5.	Układy elektryczne elektrowni jądrowych	447
11.6.	Bezpieczeństwo pracy elektrowni jądrowych	450
11.7.	Rozwój energetyki jądrowej	451
11.7.1.	Stan aktualny energetyki jądrowej	451
11.7.2.	Rozwój konstrukcji reaktorów jądrowych	454
11.7.3.	Ogólna charakterystyka reaktorów nowej generacji	455
11.7.4.	Projekty zaawansowanych reaktorów jądrowych	455
11.7.5.	Perspektywy rozwoju elektrowni jądrowych	466
	Literatura do rozdziału 11	467
12.	Elektrownie wodne – prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk	468
12.1.	Zasady przetwarzania energii wody	468
12.2.	Turbiny wodne	471
12.2.1.	Zasady działania i rodzaje turbin wodnych	471
12.2.2.	Charakterystyka turbin wodnych	474
12.3.	Rodzaje elektrowni wodnych	480
12.4.	Rozwiązania elektrowni wodnych	481
12.4.1.	Budowle hydrotechniczne, elementy elektrowni wodnych i urządzenia mechaniczne	481
12.4.2.	Elektrownie przepływowe i zbiornikowe	483
12.4.3.	Elektrownie pompowe	486
12.5.	Schematy i wyposażenie elektryczne elektrowni wodnych	493
12.6.	Automatyka i pomiary	497
12.7.	Wybrane dane niektórych krajowych elektrowni wodnych	497
12.7.1.	Elektrownie pompowe i elektrownie zbiornikowe z członami pompowymi	498
12.7.2.	Elektrownie zbiornikowe przepływowe	500
12.8.	Małe elektrownie wodne	500
	Literatura do rozdziału 12	502
13.	Elektrownie z turbinami gazowymi	
	– prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik	504
13.1.	Obieg z turbiną gazową i jego sprawność	504
13.2.	Obiegi gazowo-parowe i ich zastosowanie w elektrowniach	507
13.3.	Układy gazowo-parowe ze zgazowaniem węgla	517
	Literatura do rozdziału 13	524
14.	Elektrownie z silnikami spalinowymi tłokowymi	
	– prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik	525
14.1.	Obiegi stosowane w elektrowniach z silnikami spalinowymi	525
14.1.1.	Wstęp	525
14.1.2.	Silniki spalinowe z zapłonem iskrowym	526
14.1.3.	Silniki spalinowe wysokoprężne (Diesla)	528

14.1.4.	Moc i sprawność elektrowni z silnikami spalinowymi	530
14.2.	Układy elektrowni z silnikami spalinowymi	532
	Literatura do rozdziału 14	537
15.	Nowe źródła i technologie wytwarzania energii elektrycznej – prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk	538
15.1.	Wstęp	538
15.2.	Biomasa	542
15.3.	Energetyka wiatrowa	549
15.3.1.	Wstęp	549
15.3.2.	Ogólna charakterystyka elektrowni wiatrowych	554
15.3.3.	Moc turbiny wiatrowej	557
15.3.4.	Zasada działania turbiny wiatrowej	561
15.3.5.	Regulacja mocy turbiny wiatrowej	565
15.3.6.	Generatory	568
15.3.7.	Przykładowe schematy elektrowni wiatrowych	575
15.3.8.	Praca elektrowni wiatrowych	580
15.3.9.	Podsumowanie	583
15.4.	Energetyka słoneczna	586
15.4.1.	Wstęp	586
15.4.2.	Elektrownie słoneczne	587
15.4.3.	Wykorzystanie promieniowania słonecznego do celów grzewczych	596
15.5.	Energia geotermalna	597
15.5.1.	Wstęp	597
15.5.2.	Elektrownie geotermalne	598
15.5.3.	Ciepłownie geotermalne	599
15.5.4.	Pompy ciepła	602
15.6.	Ogniwa paliwowe	603
15.6.1.	Zasada działania	603
15.6.2.	Typy ogniw paliwowych i ich zastosowanie	607
15.7.	Wykorzystanie wodoru	609
15.8.	Elektrownie z generatorami magnetohydrodynamicznymi	611
	Literatura do rozdziału 15	612
16.	Koszty wytwarzania energii elektrycznej – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik	616
16.1.	Jednostkowe koszty wytwarzania energii elektrycznej	616
16.2.	Nakłady inwestycyjne i koszty paliwa	624
16.3.	Koszty wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w elektrociepłowniach	630
	Literatura do rozdziału 16	632

17.	Praca elektrowni w systemie elektroenergetycznym – <i>prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk</i>	634
17.1.	System elektroenergetyczny	634
17.2.	Zadania, organizacja eksploatacji i zarządzania systemu elektroenergetycznego i elektrowni	635
17.3.	Zmiennosc obciążenia w systemie elektroenergetycznym	642
17.4.	Ekonomiczny rozdział obciążeń	646
17.4.1.	Metoda przyrostów względnych	646
17.4.2.	Charakterystyki energetyczne i charakterystyki przyrostów względnych	648
17.4.3.	Realizacja ekonomicznego rozdziału obciążeń	650
17.5.	Praca elektrowni w warunkach rynku energii	651
17.6.	Regulacja częstotliwości i mocy czynnej w systemie	653
17.6.1.	Wstęp	653
17.6.2.	Pierwotna regulacja częstotliwości	655
17.6.3.	Realizacja wtórnej i trójnej regulacji częstotliwości (mocy) w systemie	658
17.7.	Praca przerywana, dyspozycyjność bloków energetycznych	663
17.8.	Elektrownie jądrowe, gazowe, wodne i wiatrowe w systemie elektroenergetycznym	667
17.8.1.	Elektrownie jądrowe w systemie	667
17.8.2.	Cechy pracy źródeł mocy regulacyjnej	668
17.8.3.	Elektrownie z turbinami gazowymi i elektrownie wodne w systemie	670
17.8.4.	Elektrownie wiatrowe w systemie	674
	Literatura do rozdziału 17	674
18.	Modernizacje i nowe rozwiązania krajowych elektrowni – <i>prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik, prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk</i>	676
18.1.	Przykładowe modernizacje krajowych elektrowni ciepłych	676
18.1.1.	Wstęp	676
18.1.2.	Elektrownia Siersza	677
18.1.3.	Elektrownia Turów	681
18.1.4.	Elektrownia Bełchatów	688
18.2.	Nowe krajowe bloki na parametry nadkrytyczne	692
18.2.1.	Tendencje światowe	692
18.2.2.	Elektrownia Pątnów II	694
18.2.3.	Elektrownia Łagisza	698
18.2.4.	Elektrownia Bełchatów	699
	Literatura do rozdziału 18	705