

<b>Przedmowa do wydania siódmego</b>	<b>xv</b>
<b>Wykaz ważniejszych oznaczeń</b>	<b>xvii</b>
<b>Ważniejsze symbole używane w schematach</b>	<b>xix</b>
<b>1. Wstęp – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik</b>	<b>1</b>
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
<b>2. Obiegi ciepłe elektrowni parowych kondensacyjnych i elektrociepłowni – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik</b>	<b>19</b>
2.1. Proces technologiczny elektrowni parowej kondensacyjnej	19
2.2. Sprawność obiegu ciepłego 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 ciepłego 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

<b>3.</b>	<b>Kotły parowe – prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk</b>	<b>57</b>
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 ciepłe w kotle	70
3.7.1.	Sprawność kotła	70
3.7.2.	Straty ciepłe 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 miażdząco-udarowe (bębnowo-kulowe)	93
3.10.4.	Młyny miażdzące	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.	Ekrany	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
<b>4.</b>	<b>Turbiny parowe – prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk</b>	<b>185</b>
4.1.	Wstęp	185
4.2.	Zasada pracy akcyjnych i reakcyjnych stopni turbin	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
<b>5.</b>	<b>Układy ciepne elektrowni i elektrociepłowni parowych – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik . . . . .</b>	<b>241</b>
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 redukcjno-schładzające . . . . .	253
5.3.3.	Pompy wody zasilającej . . . . .	254
5.4.	Układy ciepne 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
<b>6.</b>	<b>Gospodarka paliwowa – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik . . . . .</b>	<b>275</b>
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

<b>7.</b>	<b>Gospodarka wodna – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik</b>	<b>297</b>
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	322
	Literatura do rozdziału 7	324
<b>8.</b>	<b>Turbogeneratory i układy elektryczne w elektrowniach parowych – prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk</b>	<b>325</b>
8.1.	Generatory synchroniczne	325
8.1.1.	Opis ogólny	325
8.1.2.	Parametry charakteryzujące pracę generatorów synchronicznych	326
8.1.3.	Straty ciepłne 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
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	364
	Literatura do rozdziału 8	371
<b>9.</b>	<b>Potrzeby własne elektrowni parowych – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik</b>	<b>373</b>
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*

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
<b>12.</b>	<b>Elektrownie wodne – prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk . . . . .</b>	<b>468</b>
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
<b>13.</b>	<b>Elektrownie z turbinami gazowymi</b>	
	– prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik . . . . .	<b>504</b>
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
<b>14.</b>	<b>Elektrownie z silnikami spalinowymi tłokowymi</b>	
	– prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik . . . . .	<b>525</b>
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
<b>15.</b>	<b>Nowe źródła i technologie wytwarzania energii elektrycznej – prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk . . . . .</b>	<b>538</b>
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 magneto hydrodynamicznymi . . . . .	611
	Literatura do rozdziału 15 . . . . .	612
<b>16.</b>	<b>Koszty wytwarzania energii elektrycznej – prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik . . . . .</b>	<b>616</b>
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



<b>17.</b>	<b>Praca elektrowni w systemie elektroenergetycznym</b>	
	– <i>prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk</i>	<b>634</b>
17.1.	System elektroenergetyczny	634
17.2.	Zadania, organizacja eksploatacji i zarządzania systemu elektroenergetycznego i elektrowni	635
17.3.	Zmienność 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
<b>18.</b>	<b>Modernizacje i nowe rozwiązania krajowych elektrowni</b>	
	– <i>prof. dr hab. inż. Maciej Pawlik,</i> <i>prof. dr hab. inż. Franciszek Strzelczyk</i>	<b>676</b>
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 Łągisza	698
18.2.4.	Elektrownia Bełchatów	699
	Literatura do rozdziału 18	705
	<b>Skorowidz</b>	<b>706</b>