

S p i s t r e ś c i

Przedmowa	11
Wykaz oznaczeń	12
1. Wstęp	15
1.1. Pojęcia ogólne	15
1.2. Zasada skojarzonego wytwarzania energii	15
1.3. Korzyści skojarzonego wytwarzania energii	17
1.4. Trudności przy realizowaniu elektrociepłownictwa	20
2. Gospodarka energetyczna	21
2.1. Uwagi ogólne	21
2.2. Parametry energii	23
2.2.1. Energia elektryczna	23
2.2.2. Energia cieplna	25
2.3. Jednostki energii	25
2.3.1. Jednostki energii elektrycznej	25
2.3.2. Jednostki energii cieplnej	26
2.4. Klasyfikacja odbiorów ciepła	28
2.4.1. Uwagi ogólne	28
2.4.2. Odbiory ciepła o temperaturze 450-500°C	28
2.4.3. Odbiory ciepła o temperaturze 200-450°C	29
2.4.4. Odbiory ciepła o temperaturze 100-200°C	29
2.4.5. Odbiory ciepła o temperaturze około 30-100°C	30
3. Charakterystyki przebiegu krzywych poboru energii	34
3.1. Uwagi ogólne	34
3.2. Charakterystyczne współczynniki obciążenia	40

3.3.	Uporządkowana krzywa obciążenia	43
3.4.	Czas użytkowania mocy szczytowej	45
3.5.	Wyznaczanie uporządkowanych krzywych ob- ciążen	48
4.	Zapotrzebowanie energii na potrzeby przemysłu	52
4.1.	Uwagi ogólne	52
4.2.	Zapotrzebowanie energii dla odbiorców przemysłowych	52
4.3.	Gospodarka energetyczna w przemyśle - możliwości zespolonego wytwarzania energii	55
4.3.1.	Uwagi ogólne	55
4.3.2.	Analiza warunków dla zespolonego wytwarzania energii w zakładach przemysłowych	56
4.3.2.1.	Przemysł maszynowy	56
4.3.2.2.	Kopalnia węgla	57
4.3.2.3.	Huty i walcownie stali	57
4.3.2.4.	Huty szkła	58
4.3.2.5.	Cementownie	59
4.3.2.6.	Zakłady wytwórcze cerami- ki	59
4.3.2.7.	Zakłady przemysłu che- micznego	60
4.3.2.8.	Zakłady przemysłu włó- kienniczego	60
4.3.2.9.	Zakłady przemysłu celulo- zowego i papierniczego	61
4.3.2.10.	Cukrownie-rafinerie cukru	63
4.3.2.11.	Przemysł fermentacyjny	64
4.3.2.12.	Przemysł spożywczy	64
4.4.	Zapotrzebowanie energii do procesów tech- nologicznych	65
4.5.	Wskaźnik zapotrzebowania energii	65
5.	Zapotrzebowanie energii przez gospodarstwa do- mowe i urządzenia użyteczności publicznej	72
5.1.	Uwagi ogólne	72
5.2.	Zapotrzebowanie energii elektrycznej	76
5.3.	Zapotrzebowanie energii cieplnej	76
5.3.1.	Określanie zapotrzebowania ciepła do celów ogrzewniczych	77
5.3.2.	Zapotrzebowanie ciepła przy mecha- nicznej wentylacji pomieszczeń	87

5.3.3. Zapotrzebowanie ciepła do podgrzewania wody użytkowej	91
6. Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej	99
6.1. Uwagi ogólne	99
6.2. Właściwości czynnika roboczego	101
6.3. Entropia pary wodnej	108
6.4. Wykresy pary	125
6.4.1. Uwagi ogólne	125
6.4.2. Wykres "P-v" pary wodnej	125
6.4.3. Wykres "T-s" pary wodnej	127
6.4.4. Wykres "i-s" pary wodnej	129
6.5. Podstawy przemiany energii ciepłej w mechaniczną	131
6.5.1. Uwagi ogólne	131
6.5.2. Obieg ciepłny Rankine'a	136
7. Sprawność przemiany i zużycie ciepła w elektrowni kondensacyjnej	153
7.1. Sprawność przemiany	153
7.2. Zużycie ciepła, pary i paliwa w elektrowni kondensacyjnej	157
7.3. Charakterystyka zużycia ciepła w elektrowni kondensacyjnej	162
7.4. Wskaźnik skojarzenia wytwarzania energii	167
8. Skojarzone (zespólone) wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej	171
8.1. Uwagi ogólne	171
8.2. Charakterystyka pracy turbozespołu przeciwprężnego	175
8.2.1. Warunki pracy zespołu	175
8.2.2. Obliczenia zużycia ciepła i pary	176
8.2.3. Wskaźnik skojarzenia	179
8.2.4. Zużycie paliwa w elektrociepłowni przeciwprężnej	180
8.2.5. Sprawność elektrociepłowni przeciwprężnej	180
8.2.6. Charakterystyka zużycia ciepła turbozespołów przeciwprężnych	183
8.3. Charakterystyka pracy turbozespołu upustowego	185
8.3.1. Układ i warunki pracy zespołu	185

3.3.	Uporządkowana krzywa obciążenia	43
3.4.	Czas użytkowania mocy szczytowej	45
3.5.	Wyznaczanie uporządkowanych krzywych ob- ciążenia	48
4.	Zapotrzebowanie energii na potrzeby przemysłu	52
4.1.	Uwagi ogólne	52
4.2.	Zapotrzebowanie energii dla odbiorców przemysłowych	52
4.3.	Gospodarka energetyczna w przemyśle - możliwości zespolonego wytwarzania energii	55
4.3.1.	Uwagi ogólne	55
4.3.2.	Analiza warunków dla zespolonego wytwarzania energii w zakładach przemysłowych	56
4.3.2.1.	Przemysł maszynowy	56
4.3.2.2.	Kopalnia węgla	57
4.3.2.3.	Huty i walcownie stali	57
4.3.2.4.	Huty szkła	58
4.3.2.5.	Cementownie	59
4.3.2.6.	Zakłady wytwórcze cerami- ki	59
4.3.2.7.	Zakłady przemysłu che- micznego	60
4.3.2.8.	Zakłady przemysłu włó- kienniczego	60
4.3.2.9.	Zakłady przemysłu celulo- zowego i papierniczego	61
4.3.2.10.	Cukrownie-rafinerie cukru	63
4.3.2.11.	Przemysł fermentacyjny	64
4.3.2.12.	Przemysł spożywczy	64
4.4.	Zapotrzebowanie energii do procesów tech- nologicznych	65
4.5.	Wskaźnik zapotrzebowania energii	65
5.	Zapotrzebowanie energii przez gospodarstwa do- mowe i urządzenia użyteczności publicznej	72
5.1.	Uwagi ogólne	72
5.2.	Zapotrzebowanie energii elektrycznej	76
5.3.	Zapotrzebowanie energii ciepłej	76
5.3.1.	Określanie zapotrzebowania ciepła do celów ogrzewniczych	77
5.3.2.	Zapotrzebowanie ciepła przy mecha- nicznej wentylacji pomieszczeń	87

5.3.3.	Zapotrzebowanie ciepła do podgrzewania wody użytkowej	91
6.	Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej	99
6.1.	Uwagi ogólne	99
6.2.	Właściwości czynnika roboczego	101
6.3.	Entropia pary wodnej	108
6.4.	Wykresy pary	125
6.4.1.	Uwagi ogólne	125
6.4.2.	Wykres "P-v" pary wodnej	125
6.4.3.	Wykres "T-s" pary wodnej	127
6.4.4.	Wykres "i-s" pary wodnej	129
6.5.	Podstawy przemiany energii ciepłej w mechaniczną	131
6.5.1.	Uwagi ogólne	131
6.5.2.	Obieg cieplny Rankine'a	136
7.	Sprawność przemiany i zużycie ciepła w elektrowni kondensacyjnej	153
7.1.	Sprawność przemiany	153
7.2.	Zużycie ciepła, pary i paliwa w elektrowni kondensacyjnej	157
7.3.	Charakterystyka zużycia ciepła w elektrowni kondensacyjnej	162
7.4.	Wskaźnik skojarzenia wytwarzania energii	167
8.	Skojarzone (zespolone) wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej	171
8.1.	Uwagi ogólne	171
8.2.	Charakterystyka pracy turbozespołu przeciwprężnego	175
8.2.1.	Warunki pracy zespołu	175
8.2.2.	Obliczenia zużycia ciepła i pary	176
8.2.3.	Wskaźnik skojarzenia	179
8.2.4.	Zużycie paliwa w elektrociepłowni przeciwprężnej	180
8.2.5.	Sprawność elektrociepłowni przeciwprężnej	180
8.2.6.	Charakterystyka zużycia ciepła turbozespołów przeciwprężnych	183
8.3.	Charakterystyka pracy turbozespołu upustowego	185
8.3.1.	Układ i warunki pracy zespołu	185

8.3.2.	Charakterystyka poboru pary przez turbinę upustową	188
8.3.3.	Charakterystyka poboru pary turbiny z dwoma upustami	197
8.4.	Sprawność elektrociepłowni upustowej	199
8.4.1.	Podział sprawności	199
8.4.2.	Sprawność wytwarzania energii	200
8.4.3.	Sprawność ogólna elektrociepłowni	206
8.4.4.	Zużycie pary i paliwa w elektrociepłowni upustowej	207
8.4.5.	Gospodarność turbozespołów upustowych	208
9.	Bilanse wytwarzania energii	211
9.1.	Założenia do bilansu energetycznego	211
9.2.	Bilans energetyczny turbozespołu kondensacyjnego	212
9.3.	Bilans energetyczny turbozespołów przeciwnieprężnego	215
9.4.	Bilans energetyczny turbozespołu upustowego	216
9.5.	Porównanie gospodarcze oddzielnego i skojarzonego wytwarzania energii	217
10.	Koszty budowy elektrowni i elektrociepłowni	227
11.	Koszt własny produkcji	231
11.1.	Klasyfikacja kosztów produktu	231
11.2.	Koszt wytwarzania energii	231
11.2.1.	Koszty zależne od mocy zakładu (koszty stałe)	232
11.2.2.	Koszty zależne od pracy zakładu (koszty zmienne)	235
11.3.	Rozdział kosztów własnych energii wytwarzanej w elektrociepłowniach	240
11.4.	Charakterystyka kosztów własnych energii przy zespolonym wytwarzaniu	244
11.5.	Koszty przesyłu energii	246
12.	Sieć ciepła	253
12.1.	Uwagi ogólne	253
12.2.	Nośniki (czynniki robocze) w sieciach cieplnych	255

12.3.	Schematy przesyłu ciepła	258
12.3.1.	Uwagi ogólne	258
12.3.2.	Schematy sieci parowych	258
12.3.3.	Schematy sieci wodnych	260
12.4.	Układy sieci cieplnych	263
12.5.	Układy cieplnych sieci rozdzielczych	267
12.6.	Obliczenia sieci cieplnych	270
12.6.1.	Uwagi ogólne	270
12.6.2.	Określanie natężenia przepływu nośnika w sieci cieplnej	272
12.6.2.1.	Uwagi wstępne	272
12.6.2.2.	Zapotrzebowanie pary grzejnej	272
12.6.2.3.	Zapotrzebowanie wody grzejnej	276
12.6.3.	Wyznaczanie średnic rurociągów	278
	1. średnica rurociągu parowego	279
	2. prędkość pary w rurociągu	280
	3. średnica rurociągu wodnego	280
	4. prędkość wody w rurociągu	281
12.6.4.	Obliczanie spadków ciśnienia w rurociągach	281
	1. Spadek ciśnienia w rurociągu parowym	282
	2. Spadek ciśnienia w rurociągu wodnym	290
12.6.5.	Zapotrzebowanie mocy i energii na przetłaczanie wody w sieci cieplnej	292
12.6.6.	Warunki hydrauliczne pracy cieplnej sieci wodnej	294
12.6.7.	Stateczność pracy wodnej sieci cieplnej	298
12.6.8.	Gospodarczo słuszna średnica rurociągu cieplnego	301
12.7.	Porównanie warunków przesyłu ciepła za pomocą pary i wody	312
12.8.	Rozwiązanie techniczne sieci cieplnej	317
12.8.1.	Klasyfikacja i rodzaje sieci cieplnej	317
12.8.2.	Sieć napowietrzna	317
12.8.3.	Sieć nadziemna	317

12.8.4.	Sieć podziemna - kanałowa	318
12.8.5.	Sieć podziemna - bezkanałowa	320
12.9.	Elementy konstrukcyjne sieci ciepłej	322
12.9.1.	Rury	322
12.9.2.	Połączenie rur	326
12.9.3.	Łuki i odgałęzienia rurociągów	327
12.9.4.	Kompensatory wydłużeń cieplnych	328
	12.9.4.1. Wydłużenie cieplne rurociągu	328
	12.9.4.2. Kompensacja wydłużeń cieplnych	330
	12.9.4.3. Kompensatory - wydłużalniki	332
12.9.5.	Podpory rurociągów	335
12.9.6.	Osprzęt sieci ciepłej	339
	12.9.6.1. Urządzenia rozrządowe	339
	12.9.6.2. Urządzenia zabezpieczające	344
	12.9.6.3. Elementy pomocnicze rurociągów	346
12.9.7.	Otulina cieplna rurociągów	348
12.9.8.	Studzienki i komory sieci ciepłej	354
13.	Układy cieplne elektrociepłowni	356
13.1.	Uwagi wstępne	356
13.2.	Układy elektrociepłowni z turbinami przeciwnieprężnymi	358
13.3.	Układy elektrociepłowni z turbinami upustowymi	361
13.4.	Układy mieszane elektrociepłowni	365
14.	Projektowanie układów cieplnych elektrociepłowni	371
14.1.	Wybór parametrów roboczych pary	371
14.2.	Wybór mocy produkcyjnej turbin elektrociepłowni	374
15.	Obliczenia układów cieplnych elektrociepłowni	379
15.1.	Uwagi ogólne	379
15.2.	Bilans energetyczny układu z turbiną przeciwnieprężną	379

15.2.1.	Obliczenia wskaźników pracy elektrociepłowni przy $T = 7000$ h/r	380
15.2.2.	Obliczenia wskaźników pracy elektrociepłowni przy $T = 3000$ h/r	386
15.3.	Bilans energetyczny układu z turbiną upustową	394
15.4.	Bilans energetyczny układu elektrociepłowni z pogorszoną próżnią	400
16.	Główne elementy układów elektrociepłowni	407
16.1.	Kotły parowe elektrociepłowni	407
16.2.	Turbozespoły elektrociepłowni	411
16.3.	Urządzenia do zmiany parametrów czynników roboczych	414
16.4.	Podgrzewacze - wymienniki ciepła	426
16.5.	Przetwornice pary	450
16.6.	Zasobniki ciepła w elektrociepłowniach	451
16.7.	Pompy sieci cieplnej	460
16.8.	Urządzenia do przygotowywania wody dodatkowej	462
17.	Urządzenia do pomiarów ilości ciepła	465
18.	Lokalizacja i rozplanowanie elektrociepłowni	473
18.1.	Lokalizacja elektrociepłowni	473
18.2.	Rozplanowanie elektrociepłowni	474
	Tablica symboli urządzeń energetycznych	476
	Wykaz piśmiennictwa	479
	Wykaz tablic	481
	Skorowidz rzeczowy	484