

1. Wybrane podstawowe własności fizykochemiczne i termodynamiczne gazu ziemnego — Mariusz Łaciak	11
1.1. Własności fizykochemiczne gazu ziemnego.	11
1.1.1. Skład gazu ziemnego.	11
1.1.2. Podstawowe własności gazu ziemnego.	11
1.1.2.1. Podział paliw gazowych.	13
1.2. Podstawy termodynamiki gazu ziemnego.	14
1.2.1. Podstawowe prawa gazowe.	14
1.2.2. Przemiany charakterystyczne.	15
1.2.3. Równania stanu gazu.	17
1.2.3.1. Równanie wirialne.	19
1.2.3.2. Równanie stanu Berthelot'a.	20
1.2.3.3. Równanie stanu Redlicha-Kwonga.	20
1.2.3.4. Równanie stanu Dieterici'ego.	20
1.2.3.5. Równanie stanu Beattie-Brideman'a.	21
1.3. Przepływy gazów w rurociągach.	21
1.3.1. Równania podstawowe przepływów.	21
1.3.2. Charakterystyka przepływów w gazociągach.	22
1.3.2.1. Przepływ laminarny (uwarstwiony).	22
1.3.2.2. Przepływ turbulentny (burzliwy).	22
1.3.3. Obliczanie współczynnika liniowego oporu hydraulicznego.	24
1.3.3.1. I strefa przepływu laminarnego (dla $Re \leq Re_{gr}$).	24
1.3.3.2. II krytyczna strefa przepływu (dla $Re_{gr} \leq Re \leq 4000$).	24
1.3.3.3. III strefa burzliwego przepływu w rurach gładkich (dla $Re > 4000$, $\varepsilon < \varepsilon_{gr}$).	25
1.3.3.4. IV strefa burzliwego przepływu przejściowego w rurach chropowatych.	25
1.3.3.5. V strefa przepływu z rozwiniętym wpływem chropowatości.	25
1.3.4. Obliczanie hydrauliczne gazociągów.	26
1.3.4.1. Wybrane zależności stosowane w obliczeniach dla gazociągów średniego i wysokiego ciśnienia, uwzględniające współczynnik oporu jako funkcję liczby Reynoldsa (układ SI).	26
1.3.4.2. Wybrane zależności stosowane w obliczeniach dla gazociągów średniego i wysokiego ciśnienia uwzględniające współczynniki oporu jako funkcję chropowatości względnej (układ SI).	26
1.3.4.3. Wybrane zależności stosowane dla niskich ciśnień (układ SI).	27
1.4. Spalanie gazów.	27
1.4.1. Charakterystyka spalania gazów.	27
1.4.2. Zapłon mieszanek gazowych.	28
1.4.3. Wybuch i jego parametry.	29
Wykaz norm PN i ZN wymienionych w rozdziale.	30
Literatura.	30
Wykaz rysunków zamieszczonych w rozdziale.	30
Wykaz tabel zamieszczonych w rozdziale.	30
2. Urządzenia do produkcji paliw gazowych, generatory gazu	
— Bronisława Gniewek-Grzybczyk	31
2.1. Składniki paliw gazowych.	31
2.2. Podział paliw gazowych.	31
2.3. Zgazowanie paliw stałych.	33

2.4. Stałe równowagi procesu zgazowania.	33
2.5. Obliczanie stałej równowagi chemicznej.	36
2.6. Gaz generatorowy powietrzny i mieszany (półwodny).	38
2.7. Gaz wodny.	39
2.8. Wyznaczanie ilości gazu w procesie zgazowania.	40
2.8.1. Kontrola procesu zgazowania.	41
2.9. Konstrukcje generatorów gazowych.	44
2.9.1. Generatory z rusztem stałym.	44
2.9.2. Generatory gazowe z rusztem obrotowym.	45
2.9.3. Generator z podwójnym odbiorem gazu.	46
2.10. Produkcja syntetycznego gazu ziemnego z węgla.	47
2.10.1. Metoda hydrozgazowania — Hygas.	51
2.10.2. Zgazowanie węgla w obecności akceptora CO ₂ .	52
2.10.3. Zgazowanie w stopionej soli.	53
2.10.4. Metanizacja.	53
2.11. Wysokosprawne metody zgazowania paliwa stałego.	54
2.11.1. Generatory wysokociśnieniowe.	58
2.11.2. Generatory z odprowadzeniem żuźla w stanie ciekłym.	55
2.12. Instalacje gazu generatorowego.	62
2.12.1. Otrzymywanie zimnego gazu z paliw zawierających smołę.	64
2.12.2. Otrzymywanie gazu ziemnego z paliw bezsmołowych.	64
2.12.2.1. Wykorzystanie energii reaktorów atomowych do produkcji gazu.	64
2.12.2.2. Zgazowanie podziemne.	66
2.12.2.3. Gaz kopalniany.	72
2.13. Gaz konwertorowy.	73
2.13.1. Odzysk gazów konwertorowych.	75
2.14. Konwersja gazu.	78
2.15. Piroliza węgla.	80
2.15.1. Proces odgazowania.	80
2.15.2. Powstawanie koksu w komorze.	81
2.15.2.1. Produkty procesu.	82
2.15.3. Wytłewanie — odgazowanie niskotemperaturowe.	82
2.15.4. Odgazowanie wysokotemperaturowe.	86
2.16. Przeróbka surowego gazu węglowego.	89
2.17. Rozdzielanie gazu koksowniczego.	89
2.17.1. Odsiarczanie gazu.	90
Literatura.	92
Wykaz rysunków zamieszczonych w rozdziale.	93
Wykaz tabel zamieszczonych w rozdziale.	94
3. Urządzenia do przetwarzania i uzdatniania paliw gazowych	
— Bronisława Gniewek-Grzybczyk	95
3.1. Gaz ziemny.	95
3.2. Podział gazów ziemnych.	95
3.3. Przygotowanie gazu ziemnego do transportu i wykorzystania.	96
3.4. Oczyszczanie i rozdzielanie gazu ziemnego.	97
3.5. Osuszanie gazu ziemnego.	98
3.6. Chłodzenie gazu.	100

3.7. Oczyszczanie gazu ziemnego z H_2S i CO_2.	103
3.7.1. Oczyszczanie gazu ziemnego z H_2S i CO_2 metodami absorpcyjnymi	103
3.7.1.1. Absorpcja z reakcją chemiczną w wodnych roztworach amin.	103
3.7.1.2. Absorpcja H_2S i CO_2 w roztworach soli alkalicznych.	106
3.7.1.3. Usuwanie składników kwaśnych metodą absorpcji fizycznej.	107
3.8. Oczyszczanie gazu ziemnego w procesie absorpcyjno-utleniającym.	109
3.8.1. Proces Sulfinol.	110
3.9. Rozdzielanie gazów ziemnych.	111
3.9.1. Odgazolinowanie gazu ziemnego metodą absorpcyjną.	112
3.9.2. Odazotowanie gazu ziemnego.	115
3.9.2.1. Instalacje odazotowania gazu ziemnego.	116
3.9.3. Wykorzystanie zaazotowanego gazu ziemnego.	118
3.10. Gaz płynny.	119
3.11. Gaz ziemny jako paliwo.	120
3.11.1. Zasoby i wydobycie gazu ziemnego.	121
3.11.2. Ocena jakości gazów ziemnych.	122
3.11.3. Własności gazów.	124
3.11.3.1. Gęstość i gęstość względna gazu.	124
3.11.3.2. Ciepło spalania i wartość opałowa gazu.	125
3.11.3.3. Liczba Wobbego.	126
3.11.3.4. Własności technologiczne gazów.	127
3.11.3.5. Elementy teorii spalania.	131
3.11.3.6. Temperatura spalania gazu.	134
3.11.3.7. Specyfika spalania paliw gazowych.	137
3.11.3.8. Długość płomienia.	137
3.11.3.9. Zamiennność gazów.	140
3.11.3.10. Sposoby określania wymienności.	141
3.11.3.11. Zamiennność gazów w piecach przemysłowych.	144
Literatura.	145
Wykaz PN wymienionych w rozdziale.	146
Wykaz rysunków zamieszczonych w rozdziale.	147
Wykaz tabel zamieszczonych w rozdziale.	147
4. Urządzenia do magazynowania paliw gazowych —	
Mieczysław Siuciak, Bronisława Gniewek-Grzybczyk	149
4.1. Zbiorniki niskiego ciśnienia.	149
4.1.1. Zbiorniki o zmiennej objętości.	149
4.1.1.1. Zbiorniki mokre.	149
4.1.1.2. Zbiorniki suche.	154
4.2. Zbiorniki średniego ciśnienia.	157
4.2.1. Zbiorniki o stałej objętości.	158
4.2.1.1. Zbiorniki kuliste.	158
4.2.1.2. Zbiorniki walcowe.	159
4.3. Zbiorniki wysokiego ciśnienia.	160
4.3.1. Butle stalowe.	160
4.4. Magazynowanie paliw gazowych w starych złożach i kawernach solnych.	161
4.5. Magazynowanie skroplonego gazu ziemnego LNG.	163
4.5.1. Zbiorniki stacjonarne.	163

4.5.2. Metalowe zbiorniki LNG.	164
4.5.3. Zbiorniki żelbetowe LNG.	165
4.5.4. Zbiorniki podziemne.	165
Literatura.	167
Wykaz rysunków zamieszczonych w rozdziale.	167
5. Sieci gazowe wysokiego ciśnienia — Mariusz Łaciak	169
5.1. Elementy i uzbrojenie gazociągów.	169
5.1.1. Rury przewodowe.	169
5.1.1.1. Rury stalowe przewodowe do mediów palnych.	169
5.1.2. Armatura zaporowa i pomocnicza.	179
5.1.2.1. Armatura zaporowa.	179
5.1.2.2. Aparatura pomocnicza.	173
5.1.3. Obliczenia wytrzymałościowe gazociągów.	174
5.2. Budowa gazociągów przesyłowych.	174
5.2.1. Rozpoczęcie i organizacja budowy gazociągów.	175
5.2.2. Technologia budowy gazociągów.	177
5.2.3. Spawanie gazociągów.	178
5.2.4. Ochrona antykorozyjna gazociągów.	178
5.2.5. Zasyp gazociągów i znakowanie trasy.	180
5.2.6. Próby odbiorcze i przekazanie gazociągów do eksploatacji.	181
5.2.7. Zastosowanie tłoków do czyszczenia i oceny stanu technicznego gazociągów. .	183
5.3. Eksploatacja systemu przesyłowego gazu.	184
5.3.1. Tłoczenie gazu.	184
5.3.2. Podstawy teoretyczne sprężania gazu.	184
5.3.3. Maszyny do sprężania gazu.	188
5.3.3.1. Sprężarki tłokowe.	188
5.3.3.2. Sprężarki przepływowe.	190
5.3.4. Dobór typu sprężarki i napędu.	190
5.3.5. Armatura i orurowanie technologiczne tłoczni gazu.	191
5.3.6. Zagrożenia wynikające z eksploatacji tłoczni gazu.	192
5.4. Systemy telemechaniki w przesyłach magistralnym gazu.	192
5.4.1. Dane w systemie telemechaniki.	193
5.4.2. Role i zadania telemechaniki w systemie przesyłowym gazu.	193
5.4.3. Struktura organizacyjna telemechaniki w systemie.	194
Wykaz PN i BN wymienionych w rozdziale.	195
Wykaz aktów prawnych omawianych w rozdziale.	196
Wykaz rysunków zamieszczonych w rozdziale.	196
Wykaz tabel zamieszczonych w rozdziale.	196
6. Stacje gazowe w transporcie i dystrybucji gazu — Mariusz Łaciak	197
6.1. Stacje gazowe rozdzielczo-pomiarowe wysokiego ciśnienia.	197
6.2. Stacje gazowe redukcyjno-pomiarowe.	198
6.2.1. Wymagania techniczne stacji redukcyjno-pomiarowych.	199
6.2.2. Ciągi redukcyjno-pomiarowe.	200
6.2.3. Urządzenia zabezpieczające przed nadmiernym wzrostem lub spadkiem ciśnienia.	201
6.2.4. Reduktory ciśnienia.	204
6.3. Filtry przeciwpyłowe.	207

6.4. Podgrzewacze gazu.	208
6.5. Aparatura kontrolno-pomiarowa.	210
6.5.1. Gazomierze zwężkowe.	211
6.5.2. Gazomierze turbinowe.	213
6.5.3. Gazomierze rotorowe.	214
6.5.4. Gazomierze miechowe.	215
6.5.5. Gazomierze ultradźwiękowe.	216
6.6. Układy pomiarowe.	218
6.7. Korekcja pomiarów.	220
6.8. Dobór gazomierzy.	220
6.9. Prostownice strumienia.	221
6.9.1. Prostownica strumienia Gallagher'a.	221
6.9.2. Prostownica strumienia K-Lab NOVA.	221
6.9.3. Prostownica strumienia NEL (Sperman'a).	221
6.9.4. Prostownica strumienia Sprenkle'a.	222
6.9.5. Prostownica strumienia Zanker'a.	222
6.9.6. Prostownica strumienia wiązkowa.	222
6.9.7. Prostownica strumienia AMCA.	222
6.9.8. Prostownica strumienia gwiazdowa.	222
6.10. Nawanianie gazu.	224
6.11. Produkcja energii elektrycznej z rozprężania gazu.	224
6.11.1. Charakterystyka układów do rozprężania gazu.	224
6.11.2. Urządzenia rozprężające ekspansyjne.	226
Wykaz norm międzynarodowych, PN i ZN wymienionych w rozdziale.	226
Wykaz aktów prawnych omawianych w rozdziale.	227
Literatura.	227
Wykaz rysunków zamieszczonych w rozdziale.	227
Wykaz tabel zamieszczonych w rozdziale.	227
7. Sieci rozdzielcze gazu — Mariusz Łaciak	229
7.1. Układy sieci gazowych.	229
7.2. Budowa sieci rozdzielczych gazu.	230
7.2.1. Materiały stosowane do budowy gazociągów.	230
7.2.2. Gazociągi z polietylenu.	230
7.2.3. Gazociągi z poliamidu.	232
7.3. Zasady sporządzania projektów sieci rozdzielczych gazu.	233
7.3.1. Przepisy prawne.	233
7.3.2. Sporządzanie projektów sieci rozdzielczych gazu.	234
7.4. Eksploatacja sieci rozdzielczych gazu.	238
7.4.1. Przepisy podstawowe.	238
7.4.2. Przyjęcie sieci gazowej do eksploatacji.	239
7.4.3. Zasady organizacji prac gazoniebezpiecznych i niebezpiecznych.	240
7.4.4. Kontrola stanu technicznego gazociągów.	242
7.5. Przyłącza gazowe do budynków.	243
7.6. Metody prowadzenia remontów i rekonstrukcji gazociągów.	245
Wykaz norm międzynarodowych, PN i ZN wymienionych w rozdziale.	247
Wykaz aktów prawnych omawianych w rozdziale.	247
Wykaz tabel zamieszczonych w rozdziale.	248

8. Instalacje i urządzenia gazowe — Mariusz Łaciak	249
8.1. Budowa instalacji gazowych.	249
8.1.1. Kurek główny i urządzenia redukcji ciśnienia.	249
8.1.2. Przewody i kształtki instalacji gazowych.	252
8.2. Gazomierze i zasady ich lokalizacji.	256
8.3. Urządzenia gazowe.	257
8.4. Odbiór techniczny instalacji gazowych.	260
Wykaz norm EN i PN wymienionych w rozdziale.	261
Wykaz aktów prawnych omawianych w rozdziale.	261
Literatura.	262
Wykaz rysunków zamieszczonych w rozdziale.	262
Wykaz tabel zamieszczonych w rozdziale.	262
9. Turbiny gazowe — Igor Grela	263
9.1. Termodynamika obiegu turbiny gazowej — rozważania projektowe.	263
9.1.1. Wprowadzenie.	263
9.1.2. Obieg Brayton'a.	263
9.1.2.1. Obieg idealny.	264
9.1.3. Obieg rzeczywisty.	267
9.1.3.1. Efekt sprawności urządzeń i strat ciśnienia.	267
9.1.3.2. Efekt chłodzenia turbiny.	268
9.1.3.3. Definicje temperatury wlotowej do turbiny.	269
9.1.4. Obieg z „przegrzewem wtórnym”/„sekwencyjną komorą spalania”.	269
9.1.5. Obieg turbiny gazowej chłodzonej parą.	270
9.1.6. Obiegi turbiny gazowej z rekuperatorami ciepła spalin odlotowych oraz z chłodzeniem międzystopniowym i rekuperatorami ciepła spalin odlotowych.	271
9.1.7. Obiegi Cheng'a.	273
9.1.7.1. Wtrysk pary na jednym poziomie ciśnienia.	273
9.1.7.2. Wtrysk pary na dwu poziomach ciśnienia.	274
9.2. Turbiny gazowe — komponenty.	274
9.2.1. Sprężarki.	274
9.2.2. Komory spalania.	277
9.2.2.1. Osłona komory spalania.	277
9.2.2.2. „Prześciówki”.	277
9.2.2.3. Typy komór spalania.	278
9.2.2.4. Straty występujące w elementach komory spalania.	279
9.2.2.5. Mechanizmy powstawania zanieczyszczeń emitowanych z produktami spalania do atmosfery.	279
9.2.3. Turbiny.	279
9.3. Turbiny gazowe — zachowanie w przypadku pracy ze zmienionymi parametrami.	280
9.3.1. Wprowadzenie.	280
9.3.2. Wpływ parametrów instalacji.	281
9.3.3. Wpływ sposobu kontroli temperatury spalania przy pracy z obciążeniem podstawowym.	282
9.3.4. Wpływ wtrysku pary.	282
9.4. Turbiny gazowe — urządzenia pomocnicze/peryferyjne.	283
9.4.1. Tłumiki hałasu.	283

9.4.2. Filtry powietrza i czyszczenie kompresorów.	283
9.4.3. Chłodzenie/ogrzewanie powietrza do spalania.	284
9.4.4. Gorące kominy i klapy obejściowe.	284
9.4.5. Urządzenia rozruchowe.	285
9.4.6. Układy oleju smarnego.	285
9.4.7. Układy instalacji uzdatniania paliwa.	286
9.5. Turbiny gazowe — paliwa możliwe do zastosowania.	286
9.6. Turbiny gazowe — gwarancje i ubezpieczenia.	288
9.6.1. Aspekty ryzyka.	288
9.6.2. Gwarancje.	289
9.6.3. Ubezpieczenia w trakcie realizacji obiektu.	290
9.6.4. Ubezpieczenie obiektu w trakcie eksploatacji.	290
9.6.5. Zapobieganie powstawaniu strat.	292
Literatura.	293
Wykaz PN wymienionych w rozdziale.	293
Wykaz rysunków zamieszczonych w rozdziale.	293
 10. Przemysłowe odbiorniki paliw gazowych	
— <i>Bronisława Gniewek Grzybczyk</i>	295
10.1. Zużycie gazu.	295
10.2. Odbiorcy gazu w przemyśle.	299
10.3. Hutnictwo żelaza.	301
10.4. Użytkowanie gazu wielkopiecowego.	301
10.5. Zużycie gazu w hutniczych piecach grzewczych.	305
10.6. Piece martenowskie.	306
10.7. Gazy konwerterowe.	306
10.8. Wykorzystanie palnych gazów hutniczych.	308
10.9. Przemysł budowy maszyn.	310
10.10. Przemysł metalowy.	310
10.11. Hutnictwo metali nieżelaznych.	311
10.12. Przemysł mineralny.	312
10.13. Buforowe spalanie palnych gazów odlotowych.	313
10.14. Bezpromieniowe gazowe promienniki podczerwieni.	314
10.15. Autonomiczne podgrzewanie substratów procesu spalania.	314
10.16. Komory dopalania.	316
10.17. Krajowe elektrownie parowo-gazowe.	316
10.18. Wykorzystanie gazu w przemyśle chemicznym.	318
10.19. Gaz ziemny jako paliwo silnikowe.	321
10.20. Generatory magnetogazodynamiczne MGD.	322
10.21. Wodór — paliwo przyszłości.	323
10.22. Zastosowanie wodoru.	326
10.23. Energooszczędne technologie i ich efektywność ekonomiczna.	328
Literatura.	329
Wykaz rysunków zamieszczonych w rozdziale.	330
Wykaz tabel zamieszczonych w rozdziale.	331

11. Racjonalizacja zużycia ciepła — Bronisława Gniewek Grzybczyk	333
11.1. Rekuperacja ciepła.	333
11.2. Klasyfikacja wymienników ciepła.	334
11.3. Konstrukcje aparatów przeponowych.	336
11.3.1. Płaszczowo-rurowe wymienniki ciepła.	336
11.3.2. Sekcyjne wymienniki ciepła.	337
11.3.3. Spiralne wymienniki ciepła.	337
11.4. Obliczanie przeponowych wymienników ciepła.	338
11.4.1. Obliczanie wymienników przeponowych.	339
11.4.2. Obliczenia projektowe wymiennika przy wnikanii ciepła bez zmiany stanu skupienia.	342
11.5. Wymienniki ciepła o ożebrowanej powierzchni ogrzewalnej.	350
11.6. Regeneratory.	354
Literatura.	357
Wykaz rysunków zamieszczonych w rozdziale.	358
Wykaz tabel zamieszczonych w rozdziale.	358
Literatura	359
Wykaz norm wymienionych w treści.	361
Wykaz aktów prawnych omawianych w treści	362
Wykaz rysunków zamieszczonych w treści	363
Wykaz tabel zamieszczonych w treści	367