

---

# Spis treści

---

## 1. Filtry i podgrzewacze gazu

1.1. Filtry gazu .....	18
1.1.1. Budowa i zasada działania filtrów gazu .....	18
1.1.2. Parametry pracy filtrów gazu i ich dobór .....	21
1.1.3. Przykład doboru filtra gazu .....	23
1.2. Efekt Joule'a-Thomsona .....	23
1.2.1. Dławienie adiabatyczno-izentalpowe .....	24
1.2.2. Obliczanie współczynnika Joule'a-Thomsona .....	27
1.3. Przebieg przemian termodynamicznych w reduktorze .....	32
1.3.1. Zawartość pary wodnej w gazie ziemnym .....	33
1.3.2. Hydraty składników gazu ziemnego .....	34
1.3.3. Wpływ efektu Joule'a-Thomsona na parametry eksploatacyjne reduktora .....	37
1.3.4. Redukcja ciśnienia gazu bez podgrzewania gazu przed reduktorem .....	38
1.4. Wybrane elementy teorii wymienników ciepła .....	39
1.4.1. Rodzaje wymienników ciepła .....	39
1.4.2. Podstawowe równania wymiany ciepła w wymienniku .....	41
1.4.3. Średnia różnica temperatury .....	42
1.4.4. Wymienniki w stacjach redukcyjnych .....	43
1.4.5. Wymiarowanie i dobór wymiennika ciepła .....	44
1.4.6. Przykład obliczania zapotrzebowania na moc cieplną instalacji podgrzewania gazu .....	45
1.4.7. Przykład wymiarowania wymiennika ciepła .....	46
1.5. Typowe podgrzewacze gazu i zasada ich działania .....	48
1.5.1. Budowa podgrzewaczy gazu .....	49
1.6. Zabezpieczenia instalacji podgrzewania gazu przed pożarem .....	50
1.6.1. Zabezpieczenia po stronie instalacji gazowej .....	51
1.6.2. Zabezpieczenia po stronie czynnika grzewczego .....	52
Literatura .....	55
Materiały pomocnicze .....	56

## 2. Reduktory ciśnienia gazu

2.1. Zasada działania reduktorów ciśnienia gazu .....	60
2.1.1. Reduktory bezpośredniego działania .....	61
2.1.2. Reduktory pośredniego działania .....	70
2.2. Przykłady rozwiązań technicznych reduktorów ciśnienia gazu .....	77
2.2.1. Reduktory ciśnienia bezpośredniego działania .....	78
2.2.2. Reduktory ciśnienia pośredniego działania .....	81
2.3. Obliczanie parametrów pracy reduktora ciśnienia gazu .....	88

2.4. Zasady doboru reduktorów ciśnienia gazu .....	93
Literatura .....	98
Materiały pomocnicze .....	99
<b>3. Rozprężarki w układach redukcji ciśnienia gazu</b>	
3.1. Analiza porównawcza zastosowania reduktora i rozprężarki w stacji gazowej ..	102
3.1.1. Praca wykonywana przez przepływający gaz .....	102
3.1.2. Spadek temperatury podczas rozprężania gazu .....	104
3.1.3. Bilans energii w reduktorze i w rozprężarce .....	105
3.2. Charakterystyka układów rozprężania gazu z produkcją energii elektrycznej ..	108
3.2.1. Charakterystyka układu z rozprężarką turbinową i generatorem prądu elektrycznego .....	110
3.2.2. Analiza procesu rozprężania gazu w turbinie .....	112
3.2.3. Przykłady rozwiązań technicznych rozprężarek turbinowych .....	114
3.3. Ekonomiczne aspekty zastosowania rozprężarki w układzie do redukcji ciśnienia gazu .....	117
3.4. Przykład obliczeń ilości otrzymanej energii elektrycznej .....	119
Literatura .....	121
Materiały pomocnicze .....	122
<b>4. Urządzenia zabezpieczające stacji gazowych</b>	
4.1. Rodzaje urządzeń zabezpieczających stosowanych w stacjach gazowych .....	126
4.2. Zasada działania zaworów szybkozamykających .....	129
4.3. Zasada działania zaworów upustowych .....	134
4.4. Układy monitorujące .....	136
4.4.1. Układy monitorujące pasywne .....	136
4.4.2. Układy monitorujące aktywne .....	139
4.5. Wybór urządzeń zabezpieczających .....	141
4.5.1. Konfiguracje urządzeń zabezpieczających .....	143
4.5.2. Zadana wartość ciśnienia urządzeń redukcyjnych i zabezpieczających .....	146
Literatura .....	146
Materiały pomocnicze .....	147
<b>5. Urządzenia do pomiaru przepływu gazu</b>	
5.1. Gazomierze zwężkowe .....	152
5.1.1. Budowa gazomierzy zwężkowych .....	152
5.1.2. Zasada pomiaru .....	157
5.1.3. Wytyczne doboru gazomierza zwężkowego do pomiarów rozliczeniowych ..	161
5.1.4. Wymagania dotyczące instalacji .....	162
5.1.5. Prostownice strumienia .....	162
5.1.6. Charakterystyka metrologiczna gazomierza zwężkowego .....	165
5.2. Gazomierze turbinowe .....	169
5.2.1. Budowa gazomierzy turbinowych .....	169
5.2.2. Zasada pomiaru .....	171
5.2.3. Wytyczne doboru gazomierza turbinowego do pomiarów rozliczeniowych ..	174
5.2.4. Wymagania dotyczące instalacji .....	176
5.2.5. Charakterystyka metrologiczna gazomierza turbinowego .....	177
5.3. Gazomierze rotorowe .....	181
5.3.1. Budowa gazomierzy rotorowych .....	181
5.3.2. Zasada pomiaru .....	183

5.3.3. Wytyczne doboru gazomierza rotorowego do pomiarów rozliczeniowych ....	183
5.3.4. Wymagania dotyczące instalacji .....	183
5.3.5. Charakterystyka metrologiczna gazomierza rotorowego .....	185
5.4. Gazomierze miechowe .....	186
5.4.1. Budowa gazomierzy miechowych .....	187
5.4.2. Zasada pomiaru .....	188
5.4.3. Wytyczne doboru gazomierza miechowego .....	188
5.5. Gazomierze ultradźwiękowe .....	189
5.5.1. Budowa gazomierzy ultradźwiękowych .....	189
5.5.2. Zasada pomiaru .....	191
5.5.3. Właściwości metrologiczne .....	194
5.6. Gazomierze wirowe .....	196
5.6.1. Budowa gazomierzy wirowych .....	196
5.6.2. Zasada pomiaru .....	197
5.6.3. Właściwości metrologiczne .....	201
5.7. Gazomierze Coriolisa .....	202
5.7.1. Budowa gazomierzy Coriolisa .....	202
5.7.2. Zasada pomiaru .....	204
5.7.3. Właściwości metrologiczne .....	207
5.8. Wybór gazomierza .....	208
5.9. Stacje pomiarowe .....	211
Literatura .....	214
Materiały pomocnicze .....	215
<b>6. Urządzenia do pomiaru kaloryczności gazu</b>	
6.1. Wstęp .....	220
6.2. Ciepło spalania i wartość opałowa .....	220
6.2.1. Cel wyznaczania ciepła spalania .....	221
6.3 Gęstość względna gazu .....	225
6.4 Liczba Wobbego .....	226
6.4.1. Cel określania liczby Wobbego .....	227
6.5. Metoda chromatograficzna wyznaczania ciepła spalania .....	229
6.5.1 Aparatura do chromatografii gazowej .....	231
6.5.2. Procesowe chromatografy gazowe .....	238
6.6. Korelacyjne metody pomiaru kaloryczności gazu .....	246
Literatura .....	249
Materiały pomocnicze .....	250
<b>7. Urządzenia pomiarowe stacji gazowej a system SCADA</b>	
7.1. Wstęp .....	254
7.2. Urządzenia pomiarowe .....	254
7.3. Korektory objętości .....	256
7.3.1. Budowa korektorów .....	257
7.3.2. Funkcje i zasada działania korektorów .....	258
7.4. Komunikacja z korektorem .....	260
7.5. Kontrola metrologiczna .....	262
7.6. Oprogramowanie korektorów .....	263
7.6.1. Oprogramowanie komputera przenośnego .....	263
7.6.2. Oprogramowanie komputera nadrzędnego .....	264
7.7. Przykłady transmisji danych z punktu pomiarowego do systemu SCADA .....	265

7.7.1. Gazomierz turbinowy / gazomierz rotorowy .....	265
7.7.2. Przykłady Korektorów objętości .....	267
7.7.3. Szafka telemetrii .....	270
7.7.4. Transmisja danych do systemu SCADA .....	272
Literatura .....	278
Materiały pomocnicze .....	278
<b>8. Urządzenia do nawaniania gazu</b>	
8.1. Środki do nawaniania .....	283
8.2. Urządzenia do nawaniania .....	286
8.2.1. Urządzenia działające na zasadzie desorpcji środka nawaniającego .....	288
8.2.2. Urządzenia działające na zasadzie bezpośredniego dozowania środka nawaniającego .....	298
Literatura .....	311
Materiały pomocnicze .....	312
<b>9. Zjawisko hałasu w stacjach gazowych</b>	
9.1. Podstawowe definicje z zakresu akustyki .....	316
9.2. Podział źródeł hałasu w stacji gazowej .....	321
9.3. Wpływ stacji gazowych na akustykę otoczenia .....	329
9.4. Metody ograniczania hałasu .....	331
9.4.1. Nowe konstrukcje reduktorów .....	334
9.4.2. Tłumiki hałasu .....	350
9.4.3. Metody wtórne .....	355
Literatura .....	357
Materiały pomocnicze .....	357
<b>10. Strefy zagrożenia wybuchem</b>	
10.1. Postanowienia ogólne przy wyznaczaniu stref zagrożenia wybuchem .....	362
10.1.1. Definicje .....	362
10.1.2. Podział na obszary zagrożone wybuchem i obszary przyległe .....	363
10.1.3. Wyznaczanie strumienia objętości gazu wypływającego ze źródła emisji ...	365
10.2. Zasięg strefy zagrożenia wybuchem .....	369
10.2.1. Zasięg strefy przy rozpraszaniu naturalno-turbulentnym .....	370
10.2.2. Zasięg strefy przy rozpraszaniu strumieniowym .....	371
10.3. Wyznaczanie stref zagrożenia wybuchem na otwartej przestrzeni .....	373
10.3.1. Połączenia rozłączne .....	373
10.3.2. Rury wydmuchowe zaworów odpowietrzających i upustowych .....	374
10.3.3. Otwory z pomieszczeń zagrożonych wybuchem .....	376
10.4. Wyznaczanie stref zagrożenia wybuchem wewnątrz pomieszczeń .....	378
10.4.1. Wentylacja .....	378
10.5. Klasyfikacja obszarów wokół budynków .....	383
10.6. Klasyfikacja przestrzeni zamkniętych .....	383
10.7. Przykładowy operat dla stacji gazowej wysokiego ciśnienia .....	385
10.7.1. Warunki zagrożenia .....	386
10.7.2. Określenie stref zagrożenia wybuchem .....	387
Literatura .....	396
Materiały pomocnicze .....	397

<b>11. Modułowe i kompaktowe stacje gazowe</b>	
11.1. Modułowe stacje gazowe .....	400
11.2. Kompaktowe stacje gazowe .....	407
Literatura .....	418
Materiały pomocnicze .....	418
<b>12. Podziemne moduły redukcyjne</b>	
12.1. Moduły ciśnieniowe .....	423
12.2. Moduły bezciśnieniowe .....	435
12.3. Porównanie podstawowych parametrów technicznych podziemnych modułów redukcyjnych .....	447
Literatura .....	450
Materiały pomocnicze .....	450
<b>13. Projektowanie stacji gazowych</b>	
13.1. Dane do projektowania stacji .....	454
13.2. Wymagania ogólne dotyczące lokalizacji stacji .....	457
13.3. Zasady doboru podstawowych elementów stacji gazowej .....	458
13.3.1. Przewody stacji gazowej .....	460
13.3.2. Filtry, filtroseparatory, odwadniacze .....	472
13.3.3. Urządzenia do podgrzewania gazu .....	475
13.3.4. Ciąg redukcyjny stacji gazowej .....	478
13.3.5. Urządzenia zabezpieczające .....	481
13.3.6. Ciąg pomiarowy stacji gazowej .....	485
Literatura .....	487
Materiały pomocnicze .....	487
<b>14. Prowadzenie ruchu siecią dystrybucyjną</b>	
14.1. Metody sterowania siecią w układzie otwartym .....	491
14.2. Metody sterowania siecią w układzie zamkniętym .....	493
14.3. Wybrane systemy minimalizacji strat gazu w sieciach dystrybucyjnych .....	497
14.3.1. System sterowania stacjami gazowymi (Pietro Fiorentini) .....	497
14.3.2. System sterowania stacjami gazowymi (Fisher) .....	503
14.3.3. System sterowania stacjami gazowymi (RMG) .....	508
Literatura .....	513
Materiały pomocnicze .....	514
<b>Skorowidz.....</b>	<b>517</b>



---

# Wstęp

---

Stacja gazowa jest to zespół urządzeń technologicznych służących do redukcji ciśnienia, pomiaru wybranych parametrów przepływającego gazu oraz gdy zajdzie taka potrzeba, do rozdzielenia wejściowego strumienia gazu na przynajmniej dwa niezależne kierunki wyjściowe.

W stacji gazowej redukcyjno-pomiarowej dokonują się dwie podstawowe czynności: redukcja i stabilizacja ciśnienia gazu na określonym poziomie wymaganym na wyjściu stacji, niezależnie od wartości przepływu i wahań ciśnienia wejściowego oraz pomiar w zależności od potrzeb, wybranych parametrów strumienia gazu.

Wyróżnia się stacje wysokiego ciśnienia, o ciśnieniu wyjściowym nie przekraczającym 0,5 MPa, które są końcowym elementem sieci przesyłowej a jednocześnie źródłem dostawy gazu dla sieci dystrybucyjnej, oraz stacje średniego ciśnienia, o ciśnieniu wyjściowym do 10 kPa, będące elementem sieci dystrybucyjnej, spełniające zdecydowanie mniejszą rolę w procesie transportu gazu.

Pomiary wykonywane w stacji wysokiego ciśnienia dostarczają informacji o parametrach przepływającego strumienia gazu i jednocześnie wykorzystywane są do celów:

- rozliczeniowych (fakturowanie),
- bilansowania (fizycznego gazu w sieci oraz kontraktów),
- sterowania (prowadzenia ruchu sieci przesyłowej według określonego kryterium przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiednich parametrów dostawy gazu).

Aby te dwa podstawowe procesy pomiaru i redukcji mogły być realizowane zgodnie z założeniami, gaz dostarczony do stacji musi być oczyszczony z zanieczyszczeń mechanicznych oraz czasami podgrzany do odpowiedniej temperatury. Z kolei bezpieczeństwo eksploatacji stacji wymaga aby była ona wyposażona dodatkowo w armaturę zaporową na wejściu i wyjściu oraz zawory szybkozamykające, a czasami także zawory upustowe oraz przewody wydmuchowe. Z myślą o użytkownikach gaz w stacji jest nawaniany, aby dzięki charakterystycznemu zapachowi był łatwiej wykrywalny przez ludzki zmysł powonienia. Eksploatacja stacji gazowej to także niestety uciążliwość dla obsługi i otaczającego środowiska hałas będący rezultatem wzrostu prędkości gazu w procesie redukcji ciśnienia oraz niebezpieczeństwo zagrożenia wybuchem wynikające z możliwości utworzenia mieszaniny ulatniającego się z instalacji gazu z powietrzem. Tę wiedzę o procesach zachodzących w stacji, wywołanych konsekwencjach oraz urządzeniach realizujących określone funkcje, uzupełniono wskazówkami dotyczącymi projektowania stacji gazowych. Powyższym zagadnieniom poświęcono

znaczną część książki uznając, że jest to wiedza w tej dziedzinie niezbędna. Dla porównania z tradycyjnymi stacjami gazowymi omówiono także coraz powszechniej stosowane nowoczesne naziemne modułowe i kompaktowe stacje gazowe wysokiego ciśnienia. Podziemne moduły redukcyjne z kolei, reprezentują najnowsze rozwiązania konstrukcyjne stacji gazowych średniego ciśnienia. Wprowadzenie w gazownictwie zasady dostępu stron trzecich (TPA) sprawia, że wiedza o ilości dostarczanej w gazie energii staje się szczególnie istotna, bo zasada TPA zakłada możliwość mieszania strumieni gazu ziemnego z różnych źródeł w sieci. Informacje o parametrach fizycznych, charakteryzujących gaz ziemny pod względem jego przydatności jako źródła energii i sposobach ich pomiaru jest szczególnie ważna.

Prowadzenie ruchu gazową siecią transportową (przesyłową lub dystrybucyjną) jest zadaniem trudnym. Ruch sieci o złożonej strukturze zlokalizowanej na dużym obszarze powinien być prowadzony tak aby koszty eksploatacji były niskie, wskaźnik bezpieczeństwa eksploatacji wysoki, a dostawy gazu do odbiorców ciągłe – o parametrach zgodnych z umowami. Znaczną rolę w tym procesie odgrywa informatyka. Systemy SCADA (*System of Control and Data Acquisition*) zbierające i zarządzające danymi pomiarowymi są częścią systemu informatycznego przedsiębiorstwa sieciowego, pełniąc w nim bardzo istotną rolę, gdyż dostarczają pierwotnych informacji niezbędnych do zarządzania sieciami gazowymi. Część tych informacji dostarczają omówione urządzenia pomiarowe stacji gazowych, co narzuca na te urządzenia odpowiednie wysokie kryteria jakościowe. Niskie koszty eksploatacji sieci dystrybucyjnej, to przede wszystkim ograniczenie strat gazu na skutek nieszczelności. Przedstawione nowoczesne systemy sterowania stacjami gazowymi umożliwiają ograniczenie tych strat.

Książka składa się z 14 rozdziałów w których omówiono problemy przedstawione powyżej. W rozdziale 1 omówiono przemiany termodynamiczne zachodzące w reduktorze z uwzględnieniem efektu Joule'a-Thomsona, wybrane elementy teorii wymienników ciepła, a także filtry i podgrzewacze gazu. Rozdział 2 poświęcony jest reduktorom ciśnienia bezpośredniego i pośredniego działania zwracając szczególną uwagę na wybrane rozwiązania techniczne. Rozdział 3 dotyczy rozprężarek stosowanych w układach redukcji ciśnienia gazu, których zastosowanie w stacjach redukcyjnych umożliwia przetworzenie energii, która ulega rozpraszaniu w tradycyjnym dławieniu na energię elektryczną. Rozdział 4 to urządzenia zabezpieczające stacje gazowych – zawory szybkozamykające, zawory upustowe oraz układy monitorujące pasywne i aktywne. W rozdziale 5 wnikliwie scharakteryzowano urządzenia do pomiaru przepływu gazu: gazomierze zwężkowe, turbinowe, rotorowe, miechowe, ultradźwiękowe, wirowe oraz Coriolisa, omawiając ich budowę, zasadę pomiaru oraz właściwości metrologiczne. Metody chromatograficzne i korelacyjne pomiaru kaloryczności gazu a także stosowane coraz powszechniej procesowe chromatografy gazowe omówiono w rozdziale 6. Urządzenia pomiarowe stacji gazowej współpracujące z systemem SCADA przedstawiono w rozdziale 7. Dużo miejsca poświęcono korektorom przepływu, ich oprogramowaniu oraz komunikacji z korektorami, a także sposobom transmisji danych z punktów pomiarowych do systemu SCADA. Rozdział 8 to środki i urządzenia do nawaniania gazu. Nawanianie wtryskowe oraz działające na zasadzie de-



sorpcji środka nawaniającego. Zjawisku hałasu w stacjach gazowych oraz sposobom jego ograniczania poświęcono rozdział 9. Poza podstawowymi informacjami z zakresu akustyki i podziałem źródeł hałasu w stacji gazowej omówiono efektywne metody obniżania poziomu hałasu, nowe konstrukcje reduktorów, tłumiki hałasu oraz tzw. metody wtórne. W rozdziale 10 przedstawiono klasyfikację i zasady wyznaczania stref zagrożenia wybuchem dla elementów i obiektów sieci gazowych. Ponadto, podano klasyfikację stopni emisji paliwa gazowego, podział wentylacji na kategorie oraz zasady ich określania. Przedstawione zasady mają zastosowanie dla gazu ziemnego o gęstości względnej w warunkach normalnych mniejszej niż 1. Rozdział 11 dotyczy modułowych i kompaktowych stacji naziemnych – rozwiązań nowoczesnych nie zawsze akceptowanych przez przemysł. Stacje gazowe średniego ciśnienia w postaci podziemnych modułów redukcyjnych omówiono w rozdziale 12. Moduły mogą mieć konstrukcję ciśnieniową, tzn. ich obudowa stanowi część gazociągu i pełni rolę orurowania stacji redukcyjnej oraz bezciśnieniową, w których obudowa stanowi jedynie element zabezpieczający przed wilgocią i wodami gruntowymi. Porównano podstawowe parametry techniczne wybranych stacji. W rozdziale 13 podano podstawowe zasady projektowania stacji gazowych. Dane wyjściowe niezbędne do zaprojektowania stacji, wymagania ogólne dotyczące lokalizacji stacji oraz dobór elementów wyposażenia stacji gazowych. Ostatni 14. rozdział dostarcza informacji na temat układów sterowania stacjami gazowymi z punktu widzenia minimalizacji strat gazu powodowanych przez nieszczelności gazociągów. Przedstawiono zarówno proste klasyczne układy minimalizacji strat o bardzo lokalnym oddziaływaniu jak również nowoczesne systemy umożliwiające współpracę np. z systemem SCADA.

Książka jest adresowana przede wszystkim do kadry inżyniersko – technicznej, studentów studiów technicznych odpowiednich specjalności, pracowników naukowych uczelni technicznych oraz do tych wszystkich, którzy są tą problematyką zainteresowani.

Książka powstała na bazie własnych wykładów, prac wykonywanych w Zakładzie Inżynierii Gazownictwa Politechniki Warszawskiej, prac doktorantów oraz studentów. Bardzo owocna była współpraca z firmami pracującymi na potrzeby przemysłu gazowniczego. Szczególne słowa podziękowania kierujemy do Panów: Jerzego Ambroziewicza (Emerpol Sp. z o.o.), Juliusza i Zbigniewa Makowskich (Common S.A.), Macieja Szumskiego (Plum S.A.), Grzegorza Romanowskiego i Marka Maćkowiaka (RMG Gazomet Sp. z o.o.) oraz Piotra S. Kaczmarka (Fiorentini Polska Sp. z o.o.). Dziękujemy Panu dr. inż. Maciejowi Witkowi recenzentowi naszej książki. Jego bardzo wnikliwa recenzja pozwoliła nam uniknąć wielu pomyłek.

Autorzy