

# SPIS TREŚCI

<b>Przedmowa</b> .....	XV
<b>Spis oznaczeń</b> .....	XVIII
<b>1. Odzysk niskotemperaturowego ciepła odpadowego ze spalin wylotowych</b> <i>prof. dr hab. inż. Kazimierz Wójs, dr inż. Piotr Szulc, dr inż. Tomasz Tietze</i> .....	1
1.1. Ewolucja węglowych bloków energetycznych .....	1
1.1.1. Rozwój siłowni parowych na przestrzeni lat .....	1
1.1.2. Wzrost sprawności bloków węglowych oraz rozwój technologii wpływających na ten wzrost .....	3
1.1.2.1. Ewolucja kotłów parowych .....	4
1.1.2.2. Wzrost parametrów pary kotłowej .....	5
1.1.2.3. Bloki na parametry nadkrytyczne .....	6
1.1.2.4. Układy kombinowane gazowo-parowe .....	6
1.1.2.5. Suszenie węgla .....	7
1.1.3. Ewolucja technik zmniejszających emisje zanieczyszczeń .....	7
1.1.3.1. Odpylanie .....	7
1.1.3.2. Odsiarczanie spalin .....	7
1.1.3.3. Odazotowanie spalin .....	7
1.1.3.4. Usuwanie CO <sub>2</sub> ze spalin .....	8
1.2. Układy alokacji i odzysku ciepła ze spalin w elektrowniach .....	8
1.2.1. Alokacja ciepła odpadowego .....	8
1.2.2. Odzysk i wykorzystanie ciepła odpadowego .....	12
1.2.3. Układy do jednoczesnego oczyszczania i odzysku ciepła ze spalin .....	16
1.3. Wpływ ochładzania spalin poniżej temperatury punktu rosy na pracę instalacji odsiarczania spalin .....	18
1.3.1. Zastosowanie kondensacyjnego wymiennika ciepła do zwiększenia skuteczności usuwania SO <sub>2</sub> ze spalin .....	18
1.3.1.1. Wydłużenie czasu kontaktu spalin z zawieszoną sorpcyjną w absorberze SO <sub>2</sub> .....	18
1.3.1.2. Wpływ obniżonego stężenia SO <sub>2</sub> w spalinach przed absorberem IOS na wzrost skuteczności usuwania SO <sub>2</sub> .....	19
1.3.1.3. Siarkowy punkt rosy .....	20
1.3.2. Usuwanie NO <sub>x</sub> w wymienniku ciepła przed instalacją odsiarczania spalin .....	20
1.3.3. Wykorzystanie wymiennika ciepła jako zabezpieczenie absorbera IOS przed awarią (tzw. black-out) .....	21

1.4. Proces kondensacji pary wodnej w obecności gazu inertnego . . . . .	22
1.4.1. Izobaryczne ochładzanie gazu wilgotnego . . . . .	22
1.4.2. Bilans cieplny w procesie ochładzania spalin z uwzględnieniem kondensacji pary wodnej . . . . .	24
1.5. Porównanie możliwości odzysku ciepła odpadowego ze spalin z węgla brunatnego i kamiennego . . . . .	26
1.6. Modelowanie matematyczne kondensacyjnych wymienników ciepła do odzysku ciepła odpadowego ze spalin . . . . .	34
1.6.1. Bilansowy model matematyczny wymiennika ciepła . . . . .	34
1.6.2. Różniczkowy jednowymiarowy model kondensacyjnego wymiennika ciepła . . . . .	38
1.6.3. Model matematyczny VDI . . . . .	43
1.7. Fizyka zjawiska zanieczyszczania powierzchni wymiany ciepła w wymienniku ciepła . . . . .	46
1.7.1. Opis zjawiska zanieczyszczenia powierzchni wymiany ciepła . . . . .	46
1.7.2. Model matematyczny procesu zanieczyszczenia powierzchni . . . . .	48
1.8. Badania laboratoryjne odzysku ciepła odpadowego ze spalin wylotowych . . . . .	54
1.8.1. Stanowisko badawcze . . . . .	54
1.8.1.1. Kondensacyjny wymiennik ciepła . . . . .	56
1.8.1.2. Układ wodnego chłodzenia kondensacyjnego wymiennika ciepła . . . . .	64
1.8.1.3. Komora spalania z układem nawilżania . . . . .	66
1.8.1.4. Strumienica mieszająca . . . . .	69
1.8.1.5. Odprowadzenie spalin . . . . .	70
1.8.1.6. Układ dozowania popiołu do spalin . . . . .	72
1.8.1.7. System zbierania danych pomiarowych . . . . .	74
1.8.2. Wyniki badań eksperymentalnych . . . . .	75
1.8.2.1. Eksperymentalna weryfikacja współczynników zawilżenia spalin . . . . .	75
1.8.2.2. Wpływ temperatury spalin na wlocie na punkt pracy kondensacyjnego wymiennika ciepła . . . . .	77
1.8.2.3. Wpływ strumienia objętości spalin na punkt pracy kondensacyjnego wymiennika ciepła . . . . .	80
1.8.2.4. Wpływ strumienia objętości wody chłodzącej na punkt pracy kondensacyjnego wymiennika ciepła . . . . .	82
1.8.2.5. Wpływ współczynnika zawilżenia spalin na punkt pracy kondensacyjnego wymiennika ciepła . . . . .	85
1.8.2.6. Wpływ zapylenia spalin na punkt pracy wymiennika ciepła . . . . .	88
1.9. Badania niskotemperaturowego odzysku ciepła odpadowego ze spalin na instalacji pilotowej . . . . .	90
1.9.1. Instalacja pilotowa . . . . .	90
1.9.1.1. Kondensacyjny wymiennik ciepła . . . . .	91
1.9.1.2. Układ zasilania spalinami kondensacyjnego wymiennika ciepła . . . . .	93
1.9.1.3. Układ wodnego chłodzenia kondensacyjnego wymiennika ciepła . . . . .	94
1.9.1.4. Zastosowane przyrządy pomiarowe . . . . .	95
1.9.1.5. Układ zbierania i wizualizacji pomiarów oraz sterowania instalacją pilotową . . . . .	97
1.9.2. Wyniki badań na instalacji pilotowej . . . . .	97
1.9.2.1. Badania testowe wybranych wielkości . . . . .	97
1.9.2.2. Badanie zmian wielkości cieplnych i przepływowych kondensacyjnego wymiennika ciepła . . . . .	100
1.9.2.3. Wpływ zmian strumienia objętości spalin na punkt pracy kondensacyjnego wymiennika ciepła . . . . .	101

1.9.2.4. Wpływ zmian strumienia objętości wody chłodzącej na punkt pracy kondensacyjnego wymiennika ciepła .....	103
1.9.2.5. Badanie wpływu zanieczyszczenia wymiennika ciepła na jego punkt pracy .....	105
1.10. Podsumowanie .....	106
Literatura do rozdziału 1 .....	108
<b>2. Wykorzystanie niskotemperaturowego ciepła odpadowego w bloku energetycznym</b>	
<i>prof. dr hab. inż. Janusz Lewandowski, dr hab. inż. Wojciech Bujalski</i> .....	112
2.1. Wykorzystanie niskotemperaturowego ciepła odpadowego w bloku energetycznym ..	112
2.1.1. Wprowadzenie .....	112
2.1.2. Wariantowa analiza możliwości wykorzystania ciepła niskotemperaturowego w bloku kondensacyjnym i ciepłowniczym .....	113
2.1.2.1. Blok referencyjny 900 MW .....	113
2.1.2.2. Blok ciepłowniczy BC-100 .....	117
2.2. Modele matematyczne dla analizy skutków termodynamicznych wykorzystania ciepła .....	121
2.2.1. Model bloku referencyjnego 900 MW .....	121
2.2.1.1. Założenia do budowy modelu bloku referencyjnego 900 MW .....	122
2.2.1.2. Budowa modelu bloku referencyjnego 900 MW .....	123
2.2.2. Model bloku ciepłowniczego klasy BC-100 .....	123
2.2.2.1. Założenia do budowy modelu bloku BC-100 .....	123
2.2.2.2. Budowa modelu bloku BC-100 .....	124
2.2.2.3. Porównanie wyników .....	126
2.3. Wymienniki do odzysku ciepła niskotemperaturowego .....	129
2.3.1. Parametry wymienników pracujących w układzie bloku klasy 100 MW .....	129
2.3.2. Parametry wymiennika pracującego w układzie bloku klasy 900 MW .....	131
2.3.3. Projekty koncepcyjne wymienników .....	131
2.3.3.1. Projekty koncepcyjne wymienników dla bloków klasy 100 MW .....	132
2.3.3.2. Projekty koncepcyjne wymienników dla bloków klasy 900 MW .....	144
2.3.4. Koszty dostawy wymienników .....	149
2.4. Charakterystyki bloku z odzyskiem ciepła .....	150
2.4.1. Blok ciepłowniczy klasy BC-100 .....	150
2.4.1.1. Założenia do obliczeń .....	150
2.4.1.2. Model obciążenia ciepłowniczego .....	153
2.4.1.3. Porównanie osiągnięć bloków koncepcyjnych .....	155
2.4.1.4. Wnioski .....	164
2.4.2. Blok referencyjny 900 MW .....	165
2.4.2.1. Założenia do analiz .....	165
2.4.2.2. Wyniki obliczeń obciążeń częściowych bloku referencyjnego klasy 900 MW wykorzystującego ciepło niskotemperaturowe .....	166
2.5. Ocena ekonomiczna proponowanych rozwiązań .....	169
2.5.1. Założenia dotyczące analizy ekonomicznej .....	169
2.5.1.1. Podstawowe założenia do analizy rentowności rozważanych przypadków .....	169
2.5.1.2. Opis podstawowych założeń dotyczących cen i kosztów .....	173
2.5.1.3. Metodyka określania wolnych przepływów pieniężnych .....	174
2.5.2. Ceny i koszty .....	176

2.5.2.1. Zestawienie cen i stawek bez uwzględnienia kosztów uprawnień do emisji CO <sub>2</sub> . . . . .	176
2.5.2.2. Zestawienie cen i stawek z uwzględnieniem kosztów zakupu uprawnień do emisji CO <sub>2</sub> . . . . .	179
2.5.3. Wyniki obliczeń ekonomicznych . . . . .	182
2.5.3.1. Blok ciepłowniczy . . . . .	182
2.5.3.2. Blok referencyjny . . . . .	186
2.5.4. Wnioski i podsumowanie . . . . .	188
Literatura do rozdziału 2 . . . . .	190

### 3. Technologia kogeneracyjna w obiegu z czynnikiem organicznym wykorzystania ciepła odpadowego bloku

<i>prof. dr hab. inż. Dariusz Mikieliewicz, dr inż. Jan Wajs, dr Marcin Lackowski, dr. hab. inż., prof. IMP Dariusz Butrymowicz, dr Jarosław Karwacki, dr inż. Kamil Śmierciew, mgr inż. Paweł Ziółkowski</i> . . . . .	191
3.1. Wprowadzenie – technologie kogeneracyjne wykorzystania ciepła odpadowego . . . . .	191
3.1.1. Klasyfikacja układów kogeneracyjnych . . . . .	195
3.1.1.1. Układy wysokotemperaturowe . . . . .	196
3.1.1.2. Układy niskotemperaturowe . . . . .	196
3.1.2. Przykłady typowych układów kogeneracyjnych . . . . .	196
3.1.2.1. Układy kogeneracyjne z turbiną parową . . . . .	196
3.1.2.2. Układy kogeneracyjne z turbiną gazową . . . . .	197
3.1.2.3. Układy kogeneracyjne z silnikami spalinowymi . . . . .	198
3.1.3. Rozwój obiegów binarnych w Polsce . . . . .	199
3.1.4. Aspekt naukowo-badawczy podjęty przez autorów . . . . .	201
3.2. Wybór typu obiegu termodynamicznego . . . . .	203
3.2.1. Wyznaczanie głównych parametrów obiegu ORC . . . . .	209
3.2.1.1. Faza ekspansji w turbinie . . . . .	209
3.2.1.2. Faza skraplania . . . . .	209
3.2.1.3. Faza pompowania . . . . .	210
3.2.1.4. Faza podgrzewu i odparowania (przegrzania pary) . . . . .	210
3.2.2. Wpływ parametrów czynnika roboczego na sprawność obiegu CR . . . . .	210
3.2.2.1. Wpływ ciśnienia pary na wlocie do turbiny . . . . .	210
3.2.2.2. Wpływ temperatury pary na wlocie do turbiny . . . . .	211
3.2.2.3. Wpływ ciśnienia skraplania pary . . . . .	211
3.2.2.4. Możliwości poprawy sprawności obiegu parowego . . . . .	212
3.2.2.5. Międzystopniowe przegrzanie pary . . . . .	213
3.2.2.6. Regeneracyjny podgrzew wody zasilającej . . . . .	213
3.2.2.7. Obiegi na parametry nadkrytyczne . . . . .	214
3.3. Czynniki robocze do wykorzystania w obiegach ORC . . . . .	215
3.3.1. Wybór czynnika ze względu na własności termofizyczne . . . . .	219
3.3.2. Kryterium termodynamiczne doboru czynnika roboczego . . . . .	221
3.3.2.1. Obieg podkrytyczny bez regeneracji . . . . .	221
3.3.2.2. Obieg nadkrytyczny bez regeneracji . . . . .	222
3.3.2.3. Obieg podkrytyczny z wewnętrzną regeneracją energii cieplnej . . . . .	224
3.3.3. Metoda pinch w obliczeniach wymienników ciepła . . . . .	227
3.3.3.1. Koncepcja metody i jej założenia . . . . .	227
3.3.3.2. Metoda pinch . . . . .	228

3.3.3.3.	Wytyczne metody pinch	230
3.3.3.4.	Określenie optymalnej sieci wymienników ciepła	231
3.3.4.	Przypadki współpracy źródła ciepła z obiegiem ORC	232
3.3.4.1.	Dostarczanie ciepła do obiegu ORC za pomocą czynnika jednofazowego	232
3.3.4.2.	Dostarczanie ciepła do obiegu ORC za pomocą czynnika zmieniającego fazę	235
3.3.4.3.	Dostarczanie ciepła do obiegu ORC za pomocą czynnika zmieniającego fazę oraz dodatkowego jednofazowego niskotemperaturowego źródła ciepła odpadowego	239
3.3.5.	Optymalizacja wymiarów płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła na podstawie kryterium minimum produkcji entropii	242
3.3.5.1.	Model wymiennika ciepła	242
3.3.5.2.	Kryterium optymalizacyjne	244
3.3.5.3.	Wyniki obliczeń	246
3.4.	Układ ORC skojarzony z blokiem elektrowni	249
3.4.1.	Wprowadzenie do teorii bloków nadkrytycznych	249
3.4.1.1.	Parametry nadkrytyczne czynnika roboczego	249
3.4.1.2.	Sprawność bloków nadkrytycznych i ultra-nadkrytycznych	250
3.4.1.3.	Nadkrytyczne obiegi Szewalskiego	252
3.4.2.	Wykorzystanie ciepła ze spalin	254
3.4.3.	Koncepcja obiegu termodynamicznego ORC w układzie odzysku ciepła z bloku elektrowni	257
3.4.4.	Modelowanie obiegu i jego elementów kodami Computational Fluid Mechanics	258
3.4.4.1.	Model matematyczny turbiny parowej	259
3.4.4.2.	Model matematyczny pompy	260
3.4.4.3.	Model matematyczny wymienników ciepła	261
3.4.4.4.	Model matematyczny odgazowywacza	262
3.4.4.5.	Elementy rozdzielcze i łączące	263
3.4.4.6.	Definicje podstawowych wskaźników pracy bloku	264
3.4.4.7.	Parametry użyte do porównania układów hybrydowych z różnymi czynnikami niskowrzącymi	265
3.4.5.	Obieg referencyjny	266
3.4.5.1.	Dane techniczne bloku referencyjnego	267
3.4.5.2.	Dane techniczne urządzeń wytwórczych	267
3.4.5.3.	Schemat cieplny wyjściowego bloku nadkrytycznego	269
3.4.5.4.	Parametry w poszczególnych punktach obiegu	270
3.4.5.5.	Struktura paliw węglowych	271
3.4.5.6.	Struktura emisyjności spalin	272
3.4.6.	Model numeryczny referencyjnego bloku nadkrytycznego	273
3.4.6.1.	Układ ORC zasilany ciepłem odpadowym z bloku oraz ciepłem z jednego upustu turbiny	276
3.4.6.2.	Układ ORC zasilany ciepłem odpadowym z bloku oraz ciepłem z dwóch upustów turbiny	280
3.4.6.3.	Układ ORC zasilany ciepłem odpadowym z bloku, ciepłem dwóch upustów oraz ciepłem z instalacji wychwytu CO <sub>2</sub>	284
3.4.6.4.	Układ ORC z etanolem jako czynnikiem roboczym zasilany ciepłem odpadowym z bloku, ciepłem dwóch upustów oraz ciepłem z instalacji wychwytu CO <sub>2</sub>	289
3.5.	Wysokosprawne wymienniki ciepła dla pracy w układzie ORC	295

3.5.1. Metody pasywne oraz aktywne intensyfikacji wymiany ciepła . . . . .	295
3.5.1.1. Pasywne techniki intensyfikacji procesu wymiany ciepła . . . . .	296
3.5.1.2. Aktywne techniki intensyfikacji procesu wymiany ciepła . . . . .	297
3.5.2. Intensyfikacja wnikania ciepła przy wrzeniu i skraplaniu . . . . .	297
3.5.2.1. Intensyfikacja wnikania ciepła przy wrzeniu . . . . .	297
3.5.2.2. Intensyfikacja wnikania ciepła przy skraplaniu . . . . .	300
3.5.3. Opracowanie prototypowego wymiennika ciepła EHD . . . . .	303
3.5.3.1. Geometria układu elektrod w prototypowym wymienniku ciepła . . . . .	303
3.5.3.2. Stanowisko do badań prototypowego wymiennika ciepła EHD . . . . .	311
3.5.3.3. Źródło wysokiego napięcia – zasilacz wysokonapięciowy . . . . .	314
3.5.4. Wstępne wyniki badań intensyfikacji wymiany ciepła EHD . . . . .	315
3.5.4.1. Pomiar własności elektrycznych wybranych czynników roboczych . . . . .	315
3.5.4.2. Wybrane wyniki badań intensyfikacji skraplania EHD . . . . .	318
3.5.5. Intensyfikacja wymiany ciepła w wymiennikach siłowni z zastosowaniem pokryć porowatych . . . . .	320
3.5.5.1. Przedmiot badań . . . . .	321
3.5.5.2. Wyniki badań cieplnych . . . . .	322
3.5.5.3. Wyniki badań przepływowych . . . . .	323
3.5.5.4. Podsumowanie . . . . .	325
3.6. Rozwiązania poligeneracyjne wykorzystania ciepła odpadowego – produkcja chłodu . . . . .	326
3.6.1. Ocena różnych rozwiązań układów poligeneracyjnych wykorzystujących ciepło odpadowe z bloku energetycznego . . . . .	327
3.6.2. Analiza możliwości zastosowania układów strumienicowych do produkcji chłodu w poligeneracji . . . . .	334
3.6.2.1. Rozwiązanie podukładu strumienicowego do produkcji chłodu przy wykorzystaniu ciepła odpadowego z bloku energetycznego . . . . .	341
3.6.2.2. Weryfikacja eksperymentalna pracy podukładu strumienicowego do produkcji chłodu . . . . .	357
3.6.3. Ocena możliwości zastosowania rozwiązań poligeneracyjnych układów do zagospodarowania ciepła odpadowego z bloku energetycznego . . . . .	363
3.7. Stanowisko demonstracyjne siłowni ORC do odzysku ciepła odpadowego z bloku energetycznego . . . . .	364
3.7.1. Stanowisko eksperymentalne siłowni ORC . . . . .	364
3.7.2. Zasada działania stanowiska siłowni ORC . . . . .	368
3.7.3. Badania eksperymentalne siłowni ORC . . . . .	371
3.8. Podsumowanie i zalecenia na przyszłość . . . . .	373
Literatura do rozdziału 3 . . . . .	375

#### 4. Akumulacja niskotemperaturowego ciepła odpadowego w materiałach z przemianą fazową

<i>prof. dr hab. inż. Kazimierz Wójs, dr hab. inż. Janusz Lichota</i> . . . . .	380
4.1. Materiały z przemianą fazową i ich zastosowania . . . . .	380
4.1.1. Własności materiałów PCM . . . . .	383
4.1.2. Kaskada materiałów PCM . . . . .	389
4.1.3. Dobór materiału PCM . . . . .	390
4.1.4. Technologie enkapsulacji PCM . . . . .	393
4.1.4.1. Metoda chemicznej koacerwacji – mikrokapsułki . . . . .	394
4.1.4.2. Metoda wykorzystująca suszarkę fluidalną – mikrokapsułki . . . . .	395

4.1.4.3. Metoda mechaniczna – makrokapsułki	397
4.1.5. Zastosowania materiałów PCM	397
4.1.5.1. Elektrownie węglowe	397
4.1.5.2. Elektrownie słoneczne	399
4.1.5.3. Budynki i konstrukcje budowlane	400
4.1.5.4. Układy kogeneracyjne i trigeneracyjne	403
4.2. Modelowanie akumulacji z przemianą fazową	404
4.2.1. Równowaga termodynamiczna zmiany fazy	404
4.2.2. Problem Stefana	411
4.2.2.1. Model matematyczny	411
4.2.2.2. Rozwiązanie numeryczne	414
4.2.3. Model zerowymiarowy	418
4.2.3.1. Model matematyczny	418
4.2.3.2. Rozwiązanie numeryczne	419
4.2.3.3. Zastosowania modelu	421
4.2.3.4. Optymalizacja czasu ładowania akumulatora	422
4.2.4. Uprozczone obliczenia cieplne akumulatora	424
4.3. Badania doświadczalne	426
4.3.1. Stanowisko badawcze	426
4.3.2. Zjawiska w czasie topnienia i krzepnięcia materiału PCM	430
4.3.3. Własności dynamiczne akumulatora płaszczowo-rurowego	436
4.3.4. Własności dynamiczne akumulatora ze złożem filtracyjnym	442
4.3.4.1. Pojedyncza kula	442
4.3.4.2. Akumulator wypełniony kulami	446
4.3.4.3. Cylinder	449
4.3.5. Problem Stefana – model fizyczny	450
4.3.5.1. Wyniki badań laboratoryjnych i ich analiza	451
4.3.6. Model zero-wymiarowy	452
4.3.6.1. Stanowisko badawcze	453
4.3.6.2. Ciepło właściwe materiału PCM	454
4.3.6.3. Dynamika kul z materiałem RT-82	457
4.3.7. Optymalizacja czasu topnienia	459
4.3.8. Korozyjność materiału PCM	462
4.4. Przykład charakterystyk pracy akumulatora	462
4.5. Podsumowanie	465
Literatura do rozdziału 4	467
<b>5. Wpływ odzysku ciepła na proces odsiarczania, powstawanie zanieczyszczeń oraz koro- zję wymienników ciepła</b>	<b>470</b>
5.1. Wpływ parametrów procesu na przebieg procesu odsiarczania spalin <i>prof. dr hab. inż. Jerzy Walendziewski, dr hab. inż. Marek Kulażyński, dr inż. Bolesław Solich, dr inż. Rafał Łuźny, prof. dr hab. inż. Janusz Trawczyński</i>	470
5.1.1. Aktualne metody odsiarczania spalin	470
5.1.1.1. Porównanie rozwiązań technicznych instalacji odsiarczania spalin ener- getycznych	470
5.1.1.2. Metoda mokra wapienna	488
5.1.2. Porównanie parametrów pracy i efektywności instalacji odsiarczania spalin ze spalania węgla kamiennego i brunatnego dla bloku 900 MWel	495

5.1.3. Określenie wpływu parametrów spalin na stopień usunięcia $\text{SO}_2$ metodą mokrą . . . . .	500
5.1.3.1. Analiza wyników pracy IOS w elektrowni zasilanej węglem brunatnym . . . . .	500
5.1.3.2. Analiza wyników pracy IOS w elektrowni zasilanej węglem kamiennym . . . . .	503
5.1.4. Obliczenia paliwowe oraz bilansowe IOS bloku 900 MWel . . . . .	507
5.1.5. Bilansowe porównanie procesów odsiarczania spalin ze spalania węgla kamiennego i brunatnego mokrą metodą wapienną dla bloku energetycznego 900 MW . . . . .	512
5.1.6. Wpływ temperatury spalin wprowadzanych do instalacji mokrego odsiarczania spalin na efekty procesu. Symulacja procesu w oprogramowaniu ChemCad . . . . .	516
5.1.6.1. Symulacja procesu . . . . .	516
5.1.6.2. Wyniki symulacji . . . . .	519
5.1.7. Symulacja mokrego odsiarczania spalin w funkcji temperatury i zawartości $\text{SO}_3$ . . . . .	528
5.1.7.1. Wprowadzenie . . . . .	528
5.1.7.2. Symulacja procesu . . . . .	530
5.1.7.3. Wyniki symulacji . . . . .	531
5.1.8. Recyrkulacja spalin odsiarczonych . . . . .	535
5.1.8.1. Wprowadzenie . . . . .	535
5.1.8.2. Symulacja recyrkulacji spalin . . . . .	536
5.1.9. Analiza wpływu obniżenia temperatury spalin w procesie ich odsiarczania metodą mokrą wapienną na bilans wody . . . . .	541
5.1.9.1. Wprowadzenie . . . . .	541
5.1.9.2. Czynniki wpływające na skuteczność odsiarczania spalin metodą mokrą . . . . .	542
5.1.9.3. Analiza wpływu obniżenia temperatury spalin na bilans wody w procesie mokrego odsiarczania spalin . . . . .	543
5.1.10. Podsumowanie i wnioski . . . . .	551
Literatura do podrozdziału 5.1 . . . . .	554
5.2. Zagrożenia korozyjne w procesie odsiarczania spalin <i>prof. dr hab. inż. Bogdan Szczygieł, dr inż. Izydor Dreła, dr inż. Jan Masalski</i> . . . . .	555
5.2.1. Źródła skażenia atmosfery przez $\text{SO}_2$ . . . . .	555
5.2.2. Metody zmniejszenia emisji $\text{SO}_2$ do atmosfery . . . . .	556
5.2.3. Instalacje mokrego odsiarczania spalin . . . . .	557
5.2.3.1. Agresywność korozyjna środowisk w mokrych IOS . . . . .	557
5.2.3.2. Elementy IOS najbardziej narażone na działanie agresywnego środowiska . . . . .	558
5.2.4. Materiały konstrukcyjne stosowane w IOS . . . . .	563
5.2.4.1. Materiały polimerowe . . . . .	564
5.2.4.2. Stopy metali . . . . .	568
5.2.4.3. Materiały ceramiczne . . . . .	572
5.2.5. Metody oceny zdolności ochronnej materiałów inżynierskich stosowanych do pracy w IOS . . . . .	573
5.2.5.1. Spektroskopia impedancyjna . . . . .	574
5.2.5.2. Spektroskopia mikrofalowa . . . . .	577
5.2.5.3. Pomiary polaryzacyjne stałoprądowe . . . . .	577
5.2.5.4. Badania przyspieszone w komorach korozyjnych . . . . .	578
5.2.5.5. Badanie wnikania pary wodnej do wykładzin gumowych . . . . .	579
5.2.6. Właściwości ochronne materiałów konstrukcyjnych z tworzyw sztucznych stosowanych w instalacji odsiarczania spalin – przykłady badań . . . . .	582



5.2.6.1. Sposoby przyspieszonego starzenia materiałów z tworzyw sztucznych	582
5.2.6.2. Zmiana właściwości wykładzin gumowych po przyspieszonym starzeniu i/lub po pracy w warunkach rzeczywistych w IOS	585
5.2.6.3. Właściwości ochronne wykładzin gumowych po kilkunastoletniej eksploatacji w warunkach przemysłowych w IOS	587
5.2.6.4. Polimerowe tworzywa fluorowe	597
5.2.7. Odporność korozyjna stopów niklu 31 i 59 oraz stali 304 w środowisku imitującym warunki IOS	601
5.2.7.1. Badania w środowisku zawierającym kwas siarkowy (VI) oraz jony chlorkowe i fluorkowe	602
5.2.7.2. Badania polaryzacyjne w środowisku zawierającym kwas siarkowy (VI), jony siarczanowe (IV) oraz jony chlorkowe i fluorkowe	607
5.2.7.3. Odporność stali stopowej i stopów niklu na obecność jonów rtęci w środowisku IOS	615
5.2.8. Kompleksowa ochrona antykorozyjna IOS – zalecenia i przykłady rozwiązań	617
5.2.8.1. Zalecane materiały i powłoki ochronne dla różnych fragmentów IOS	617
5.2.8.2. Stosowane materiały, sposób ich aplikacji oraz koszt wykonania zabezpieczeń absorbera IOS	619
5.2.8.3. Nowe rozwiązania w budowie mokrych IOS	619
Literatura do podrozdziału 5.2	623
<b>Skorowidz</b>	628