

Spis treści

Streszczenie	11
Summary	15
Wykaz skrótów i oznaczeń	17
1. Wstęp	23
2. Rtęć a środowisko naturalne człowieka	25
2.1. Charakterystyka rtęci	25
2.2. Toksyczność rtęci i jej wpływ na człowieka.....	27
2.3. Emisja rtęci	29
2.4. Uwalnianie rtęci w procesach spalania – potencjalny problem dla energetyki węglowej	35
2.4.1. Rtęć w węglach – formy i występowanie w różnych frakcjach.....	38
2.4.2. Spalanie węgla w kotłach pyłowych, reakcje z udziałem rtęci, formy specyacyjne rtęci w spalinach	40
2.5. Regulacje prawne dotyczące emisji rtęci i limitów jej stężeń w środowisku ...	44
3. Metody redukcji emisji rtęci do środowiska w energetyce zawodowej	55
3.1. Mechanizmy pasywnego usuwania rtęci ze spalin	56
3.1.1. Retencja rtęci w kotłach dużej mocy	57
3.1.2. Rtęć a technologie niekatalitycznego (SNCR) i katalitycznego (SCR) usuwania tlenków azotu ze spalin oraz podgrzewacz powietrza (APH)	57
3.1.3. Wpływ urządzeń odpylających (PCD) – gorącego i zimnego elektrofiltru oraz filtru tkaninowego – na retencję rtęci	59
3.1.4. Znaczenie niespalonego węgla z popiołów lotnych w dystrybucji rtęci w ciągach odprowadzających spaliny	62
3.1.5. Wpływ instalacji odsiarczania spalin (FGD) na usuwanie rtęci i jej specjację w spalinach kominowych	64
3.1.6. Bilans rtęci w układach technologicznych elektrowni węglowych	68
3.2. Metody projektowane (<i>dedicated</i>) o aktywnych i/lub specyficznych mechanizmach usuwania rtęci, stosowane na różnych etapach produkcji energii elektrycznej	70
3.2.1. Selektywne górnictwo, mieszanie i wzbogacanie węgla	71
3.2.2. Wstępna termiczna separacja (piroliza niskotemperaturowa) węgla	72

3.2.3.	Sorbenty w technologii usuwania rtęci ze spalin	73
3.2.3.1.	Podawanie do spalin niedopalonego węgla i halogenków	77
3.2.3.2.	Zastosowanie sorbentów nieorganicznych	78
3.2.3.3.	Zastosowanie sorbentów organicznych, wstrzykiwanie węgla aktywnego (ACI)	85
3.2.3.4.	Koszty implementacji oraz stosowania technologii usuwania rtęci za pomocą ACI	88
3.2.4.	Inne technologie – nowoczesne, stosowane na małą skalę lub w fazie rozwoju	89
3.3.	Podsumowanie	93
4.	Wybrane metody pomiaru stężenia rtęci oraz inne metody analityczne i badawcze wykorzystane w pracach nad usuwaniem rtęci ze środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem energetyki węglowej	95
4.1.	Atomowa spektroskopia absorpcyjna z generacją zimnych par rtęci (CV-AAS)	97
4.1.1.	Analizator elementarny rtęci MA-3000	99
4.1.2.	Analizator on-line rtęci gazowej EMP-2	103
4.2.	Metody analizy chemicznej gazów spalinowych	105
4.3.	Analizy elementarne, techniczne i mikroskopowe	106
4.4.	Granulometria laserowa	107
4.5.	Analiza powierzchni właściwej i rozkładu wielkości porów	109
4.6.	Metodyka pomiaru stężenia masy pyłu w spalinach i stężenia rtęci w zgromadzonym popiele lotnym	110
4.6.1.	Dostosowanie metody grawimetrycznej z izokinetycznym pobieraniem pyłów do pracy w spalinach zawierających rtęć	111
4.6.2.	Metodyka analizy rtęci w pyłe gromadzonym za urządzeniem odpylającym	117
4.6.3.	Metodyka analizy rtęci w pyłe gromadzonym przed urządzeniem odpylającym	119
5.	Własne badania laboratoryjne nad usuwaniem rtęci z węgla oraz zanieczyszczonych roztworów i gazów	121
5.1.	Badania stopnia usuwania rtęci z produktów i odpadów procesu wzbogacania węgla koksowych oraz z węgla energetycznych podczas ekstrakcji sekwencyjnej kwasami	122
5.2.	Badanie wpływu ekstrakcji sekwencyjnej węgla na proces termicznego usuwania rtęci	138
5.3.	Konstrukcja i wykorzystanie do badań stanowiska do pomiarów usuwania rtęci ze spalin pyłu węglowego	144
5.3.1.	Koncepcja i budowa własnego stanowiska badawczego	146
5.3.2.	Badania usuwania rtęci ze spalin na sorbentach tlenkowych MnO_x/ZrO_2	151

5.3.3. Badania usuwania rtęci ze spalin na zeolicie Ag-X	158
5.3.4. Testy laboratoryjne sorbentów na bazie popiołów fluidalnych, do późniejszego zastosowania w eksperymentach na przemysłowej instalacji demonstracyjnej.....	165
5.3.4.1. Charakterystyka sorbentów A, B i C oraz ich przygotowanie do testów laboratoryjnych i przemysłowych.....	168
5.3.4.2. Badania porównawcze usuwania rtęci ze spalin na czterech wybranych sorbentach.....	174
5.4. Badania zawartości rtęci w gazach procesowych wstępnej preparacji termicznej węgla kamiennych oraz analiza stopnia usunięcia rtęci z uzyskanych produktów i gazów	190
5.4.1. Porównanie procesów usuwania rtęci ze spalin wstępnej separacji termicznej i spalin węglowych zachodzących w złożu sorbentu B+	194
5.4.2. Porównanie procesów usuwania rtęci ze spalin wstępnej separacji termicznej i spalin węglowych zachodzących w zawieszinie popiołu fluidalnego	199
5.5. Badanie usuwania jonów Hg^{2+} z roztworów wodnych za pomocą zawiesin popiołów lotnych	203
5.5.1. Próby wstępne	204
5.5.2. Eksperyment sorpcyjny z użyciem sorbentu wyjściowego C w roztworach Hg^{2+} o stężeniu 1 mg/l, 10 mg/l i 100 mg/l w środowisku zasadowym.....	206
5.5.3. Eksperyment sorpcyjny z użyciem sorbentu wyjściowego C oraz jego frakcji A i B w roztworach Hg^{2+} o stężeniu 1 mg/l i 5 mg/l w środowisku kwaśnym i zasadowym	208
5.5.4. Eksperyment sorpcyjny typu <i>batch sorption study</i> w zawiesinach sorbentu wyjściowego C oraz jego frakcji A i B, w roztworach Hg^{2+} o stężeniu rzędu 15–20 mg/l przy stałym kwaśnym lub zasadowym pH.....	212
6. Instalacja demonstracyjna do monitorowania i redukcji emisji rtęci do atmosfery	219
6.1. Przegląd prób przemysłowych nad usuwaniem rtęci ze spalin kotłów energetycznych	220
6.2. Projekt CoalGas i jego pakiet WP4.....	225
6.3. Koncepcja powstania instalacji demonstracyjnej, jej parametry oraz udział grupy analityków w pracach projektowych	229
6.4. Faza powstawania instalacji demonstracyjnej	233
7. Planowanie testów przemysłowych	237
7.1. Przygotowania w zakresie analityki chemicznej rtęci	238
7.2. Rodzaje i nazewnictwo próbek pobieranych w obiektach elektrowni. Gromadzenie danych	240

8. Badania w układzie technologicznym bloku energetycznego nr 12, zasilającego instalację demonstracyjną	244
8.1. Analizy fizykochemiczne paliw i odpadów niepopiołowych	247
8.2. Charakterystyka i zapylenie spalin kotłowych bloku nr 12 wzdłuż ciągu oczyszczania	251
8.3. Popioły gromadzone w elektrofiltrze bloku energetycznego nr 12.....	257
8.3.1. Analiza rtęci	258
8.3.2. Analiza granulometryczna	262
8.4. Analiza rtęci w popiołach w odniesieniu do jej stężenia w spalinach	264
8.5. Oszacowanie stopnia pasywnego usuwania rtęci w układzie oczyszczania spalin bloku nr 12 – dystrybucja rtęci	267
9. Testy i badania przeprowadzone w obrębie instalacji demonstracyjnej	273
9.1. Faza rozruchu.....	273
9.2. Praktyczne aspekty optymalizacji pracy instalacji demonstracyjnej	274
9.3. Właściwości popiołów i zapylenie spalin instalacji demonstracyjnej w odniesieniu do bloku zasilającego.....	281
9.3.1. Pomiar zawartości rtęci w popiołach gromadzonych w PCD instalacji demonstracyjnej	282
9.3.2. Pomiary uziarnienia popiołów lotnych	285
9.3.3. Pomiary zapylenia spalin i zawartości rtęci zgromadzonej na separatorach pyłomierza.....	288
9.3.4. Dystrybucja różnych form rtęci w obrębie instalacji demonstracyjnej	295
9.4. Badania redukcji emisji rtęci z wykorzystaniem sorbentów	300
9.4.1. Schematy badań	301
9.4.2. Iniekcja sorbentu	304
9.4.3. Opis i omówienie wykonanych testów	307
9.5. Zestawienie najważniejszych wyników i podsumowanie rozdziału.....	313
10. Podsumowanie pracy i wnioski.....	318
Literatura.....	322
Podziękowania.....	353