

Spis treści

Wykaz zastosowanych symboli	7
Wstęp	9
I. CZĘŚĆ TEORETYCZNA	13
1. Produkcja i budowa węgla aktywnych	13
1.1. Produkcja	13
1.2. Rodzaje	13
1.3. Budowa i struktura	14
2. Otrzymywanie węgla aktywnych	17
2.1. Stosowane surowce	17
2.2. Etapy otrzymywania węgla aktywnych	18
2.2.1. Granulowanie	18
2.2.2. Karbonizacja	18
2.2.3. Aktywacja	19
2.2.3.1. Aktywacja fizyczna	19
2.2.3.2. Aktywacja chemiczna	20
3. Modyfikacja powierzchni węgla aktywnych	23
3.1. Wprowadzenie	23
3.2. Powierzchnia chemiczna kwasowa	23
3.3. Powierzchnia chemiczna zasadowa	24
4. Węgla aktywne w adsorpcji CO ₂	25
4.1. Preparatyka węgla aktywnych z powierzchnią zasadową	25
4.1.1. Wprowadzenie	25
4.1.2. Obróbka cieplna	25
4.1.3. Obróbka za pomocą amoniaku	26
4.1.4. Obróbka za pomocą amin	29
4.2. Modyfikacja węgla aktywnych tlenkami metali	31
4.3. Modyfikacja węgla aktywnych związkami potasu	33
5. Adsorpcyjne magazynowanie metanu	35
5.1. Wprowadzenie	35
5.2. Węgla aktywne w procesie adsorpcji metanu	35
5.3. Wykorzystanie materiałów węglowych w procesie adsorpcji CH ₄	36
5.4. Wykorzystanie modyfikowanych węgla aktywnych w adsorpcji CH ₄	38
6. Cel pracy w odniesieniu do przedstawionego przeglądu literatury	41
II. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA	43
7. Aparatura i metodyka pomiarów	43
7.1. Metody analityczne stosowane w badaniach	43
7.1.1. Zawartość popiołu	43
7.1.2. Liczba jodowa	43
7.1.3. Gęstość nasypowa	44
7.1.4. Gęstość helowa	44
7.2. Badania fizykochemiczne wyjściowych i modyfikowanych węgla aktywnych	44
7.2.1. Właściwości teksturalne	44
7.2.2. Spektroskopia Ramana	45

7.2.3.	Spektroskopia fluorescencji rentgenowskiej	46
7.2.4.	Emisyjna spektroskopia atomowa ze wzbudzeniem plazmowym	46
7.2.5.	Dyfraktometria rentgenowska	46
7.2.6.	Badania adsorpcji CO ₂ w temperaturze 25°C oraz 0°C	46
7.2.7.	Wysokociśnieniowe badania adsorpcji CO ₂ oraz CH ₄	47
8.	Przegląd matematycznych modeli izoterm adsorpcji	49
8.1.	Wprowadzenie	49
8.2.	Modele izoterm adsorpcji z dwoma parametrami	49
8.2.1.	Model Langmuira	49
8.2.2.	Model Freundlicha	50
8.2.3.	Model Temkina	50
8.2.4.	Model Dubinina-Radushkevicha	50
8.2.5.	Model Jovanovica	51
8.3.	Modele izoterm adsorpcji z trzema parametrami	51
8.3.1.	Model Sipsa (Langmuira-Freundlicha)	51
8.3.2.	Model Totha	52
8.3.3.	Model Radkego-Prausnitza	52
8.3.4.	Model Unilana	52
8.3.5.	Model Fritza-Schlundera	53
8.4.	Izosteryczne ciepło adsorpcji	53
8.5.	Błędy pomiarowe	53
8.5.1.	Metoda najmniejszych kwadratów błędów	54
8.5.2.	Hybrydowa funkcja błędu	54
8.5.3.	Odchylenia standardowe Marquardta	54
8.5.4.	Średni procentowy błąd bezwzględny	54
8.5.5.	Suma błędu bezwzględnego	55
8.5.6.	Suma błędów znormalizowanych	55
9.	Węgle aktywne – charakterystyka i modyfikacja	57
9.1.	Charakterystyka surowców	57
9.2.	Modyfikacja komercyjnych węgli aktywnych	57
10.	Badania wybranych wskaźników technicznych węgli aktywnych	59
10.1.	Badania gęstości nasypowej i helowej	59
10.2.	Badania liczby jodowej	60
10.3.	Charakterystyka składu chemicznego węgli aktywnych	61
10.4.	Badania substancji mineralnej – popiołu	63
11.	Charakterystyka węgli aktywnych metodą XRD	65
12.	Charakterystyka teksturalna węgli aktywnych	67
12.1.	Izoterm adsorpcji–desorpcji azotu	67
12.2.	Powierzchnia właściwa	70
12.3.	Objętość porów	71
12.4.	Rozkład wielkości porów	73
13.	Charakterystyka węgli aktywnych metodą spektroskopii Ramana	79
14.	Badanie adsorpcji CO ₂ w warunkach ciśnienia atmosferycznego	81
14.1.	Wyniki badań	81
14.2.	Wpływ właściwości teksturalnych na adsorpcję CO ₂ pod ciśnieniem 1 bar	82
15.	Badanie adsorpcji CO ₂ w warunkach wysokiego ciśnienia	87
15.1.	Wyniki badań	87
15.2.	Modelowanie procesu adsorpcji CO ₂	88
15.3.	Stała Henry’ego	91
15.4.	Izosteryczne ciepło adsorpcji	91

16. Badanie adsorpcji metanu w warunkach wysokiego ciśnienia	95
16.1. Wyniki badań	95
16.2. Wpływ właściwości teksturalnych na adsorpcję metanu pod ciśnieniem 35 bar	97
16.3. Modelowanie adsorpcji CH ₄	98
16.4. Stała Henry'ego	100
16.5. Izosteryczne ciepło adsorpcji	101
17. Podsumowanie	103
18. Wnioski	105
Załącznik	107
Literatura	133
Summary	145
Zusammenfassung	147