

Zofia Kalicka

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

**Wybrane zagadnienia
czystych technologii**

**Wydawnictwo Naukowe AKAPIT
Kraków 2012**

RECENZENCI:

Prof. dr hab. Roman Dziembaj – Uniwersytet Jagielloński, Kraków

Prof. dr hab. Mariusz Holtzer – Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

© Copyright by Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2012
Printed in Poland

ISBN 978-83-63663-02-5

Nakład 150 egz.

SKŁAD I DRUK:



Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, Kraków

tel./fax (012) 280-71-51; www.akapit.krakow.pl

e-mail: wn@akapit.krakow.pl

SPIS TREŚCI

Wykaz skrótów	5
Wprowadzenie.....	7
1. CZYSTA TECHNOLOGIA.....	9
1.1. Rozwój koncepcji czystych technologii.....	9
1.2. Ekoefektywność technologii	16
1.3. Analiza cyklu życia produktu	18
1.4. Przemysłowe zanieczyszczenie środowiska	20
1.4.1. Zanieczyszczenie powietrza	20
1.4.2. Zanieczyszczenie wód	26
1.4.3. Zanieczyszczenie gleby	28
Literatura do rozdziału 1.....	29
2. TECHNIKI MEMBRANOWE	31
2.1. Typy procesów membranowych.....	31
2.2. Mechanizmy transportu przez membranę	35
2.2.1. Podstawy teoretyczne modelu rozpuszczania-dyfuzji w membranach gęstych	36
2.2.2. Przepływ przez pory w membranach porowatych	37
2.3. Separacja gazów	39
2.3.1. Model separacji gazów przez gęste membrany polimerowe.....	40
2.3.2. Selektywność membran.....	42
2.3.3. Zastosowanie gęstych membran polimerowych	45
2.3.4. Membrany porowate.....	47
2.3.5. Hybrydowe membrany nieorganiczno-polimerowe.....	48
2.4. Odwrócona osmoza	50
2.4.1. Model transportu.....	51
2.4.2. Zastosowanie.....	53
2.5. Mikrofiltracja.....	54
2.6. Ultrafiltracja	55
2.7. Nanofiltracja.....	56
2.8. Perwaporacja.....	57
2.8.1. Model.....	58
2.8.2. Zastosowanie.....	59

2.9. Membrany ciekłe	60
2.10. Przykład przemysłowej syntezy z wykorzystaniem membran.....	63
Literatura do rozdziału 2.....	64
3. PŁYNY NADKRYTYCZNE	67
3.1. Punkt krytyczny gazów.....	67
3.2. Stan nadkrytyczny gazów	69
3.3. Zastosowanie płynów nadkrytycznych	74
3.4. Nadkrytyczny dwutlenek węgla.....	76
3.4.1. Nadkrytyczna ekstrakcja	78
3.5. Nadkrytyczna woda.....	79
3.5.1. Utlenianie w nadkrytycznej wodzie	82
3.5.2. Gazyfikacja biomasy w nadkrytycznej wodzie	84
Literatura do rozdziału 3.....	86
4. CZYSTE TECHNOLOGIE WĘGLOWE.....	89
4.1. Zanieczyszczenia pochodzące ze spalania paliw	89
4.2. Wartość opałowa i emisja CO ₂	95
4.2.1. Porównanie ciepła spalania paliw	96
4.2.2. Porównanie emisji CO ₂ dla węgla kamiennego i gazu ziemnego.....	97
4.3. Konwersja energii cieplnej paliw na energię elektryczną	97
4.4. Spalanie pyłu węglowego	100
4.5. Spalanie fluidalne	101
4.6. Zgazowanie węgla i elektrownie IGCC	107
4.7. Nowe techniki spalania	108
4.7.1. Spalanie w tlenie.....	109
4.7.2. Spalanie przy udziale stałych nośników tlenowych w pętli chemicznej	110
4.8. Wychwytywanie dwutlenku węgla.....	112
Literatura do rozdziału 4.....	114
5. BIOTECHNOLOGIA.....	117
5.1. Bioługowanie metali z rud	117
5.2. Bioremediacja.....	119
5.2.1. Bioremediacja ze skażeń ropopochodnych.....	119
5.2.2. Bioremediacja ze skażeń metalami	122
5.3. Odzysk metali z odpadów i ścieków przemysłowych	123
5.4. Inne zastosowania	124
Literatura do rozdziału 5.....	128
Skorowidz.....	131

WYKAZ SKRÓTÓW

AFBC	– spalanie w atmosferycznych kotłach fluidalnych (ang. <i>atmospheric fluidised bed combustion</i>)
BAT	– Najlepsze Dostępne Techniki (ang. <i>Best Available Techniques</i>)
NDT	– Najlepsze Dostępne Techniki
BFBC	– spalanie w pęcherzykowych kotłach fluidalnych (ang. <i>bubbling fluidised bed combustion</i>)
CCS	– wychwytywanie CO ₂ ze spalin i składowanie (ang. <i>carbon capture and storage</i>)
CFBC	– spalanie w cyrkulacyjnych kotłach fluidalnych (ang. <i>circulating fluidised bed combustion</i>)
CFC	– połączenia chlorofluorowęglowe
CLC	– spalanie w pętli chemicznej (ang. <i>chemical looping combustion</i>)
CT	– czyste technologie
EMAS	– europejski system ek zarządzania i audytu (ang. <i>Eco Management and Audit Scheme</i>)
FBC	– spalanie w kotłach fluidalnych (ang. <i>fluidised bed combustion</i>)
FGD	– odsiarczanie spalin (ang. <i>flue gas desulfurization</i>)
HCFC	– połączenia wodorochlorofluorowęglowe
HFC	– połączenia wodorofluorowęglowe
GHG	– gazy cieplarniane (ang. <i>greenhouse gases</i>)
GS	– separacja gazów (ang. <i>gas separation</i>)
GWP	– Potencjał Globalnego Ocieplenia (ang. <i>Global Warming Potential</i>)
HHV	– górna wartość ciepła spalania (wartość LHV powiększona o ciepło kondensacji pary wodnej) (ang. <i>Higher Heating Value</i>)
IED	– Dyrektywa w sprawie emisji przemysłowych (ang. <i>Industrial Emissions Directive</i>)
IGCC	– blok gazowo-parowy zintegrowany ze zgazowaniem węgla (elektrownie IGCC) (ang. <i>integrated gasification combined cycle</i>)
IPPC	– Zintegrowane Zapobieganie i Ograniczanie Zanieczyszczeń (ang. <i>Integrated Pollution Prevention and Control</i>)
ISO	– Międzynarodowa Organizacja Standaryzacyjna (ang. <i>International Standardization Organization</i>)
LHV	– wartość opałowa paliwa (inaczej: dolna wartość ciepła spalania) (ang. <i>Lower Heating Value</i>)
LM	– ciekłe membrany (ang. <i>liquid membranes</i>)
LCA	– Analiza Cyklu Życia (produktu) (ang. <i>Life Cycle Assessment</i>)
LZO	– lotne związki organiczne (ang. VOCs – <i>Volatile Organic Compounds</i>)

MF	– mikrofiltracja
MMM	– hybrydowe membrany nieorganiczno-polimerowe (ang. <i>mixed matrix membranes</i>)
NF	– nanofiltracja
NO_x	– tlenki azotu NO i NO ₂
PBBF	– spalanie w ciśnieniowych pęcherzykowych kotłach fluidalnych (ang. <i>pressurised bubbling fluidised bed combustion</i>)
PC	– spalanie pyłu węglowego (w palnikach pyłowych) (ang. <i>pulverised coal-fired</i>)
PCDDs	– polichlorodibenzo- <i>p</i> -dioksyne
PCDFs	– polichlorodibenzofurany
PCFB	– spalanie w ciśnieniowych cyrkulacyjnych kotłach fluidalnych (ang. <i>pressurised circulating fluidised bed combustion</i>)
PFBC	– spalanie w ciśnieniowych kotłach fluidalnych (ang. <i>pressurised fluidised bed combustion</i>)
ppm	– jednostka stężenia: milionowa część (ang. <i>parts per million</i>)
ppmv	– jednostka stężenia: milionowa część objętości (ang. <i>volume parts per million</i>)
PV	– perwaporacja (ang. <i>pervaporation</i>)
RFG	– spalanie z recyrkulacją spalin (ang. <i>recycled flue gas</i>)
RO	– odwrócona osmoza (ang. <i>reverse osmosis</i>)
scCO₂	– nadkrytyczny dwutlenek węgla (ang. <i>supercritical CO₂</i>)
scH₂O	– nadkrytyczna woda (ang. <i>supercritical H₂O</i>)
SCW	– nadkrytyczna woda (ang. <i>supercritical water</i>)
SCWG	– gazyfikacja nadkrytyczną wodą (ang. <i>Supercritical Water Gasification</i>)
SCWO	– utlenianie w nadkrytycznej wodzie (ang. <i>Supercritical Water Oxidation</i>)
SFC	– ekstrakcja w warunkach nadkrytycznych (ang. <i>Supercritical Fluid Extraction</i>)
SO_x	– tlenki siarki SO ₂ i SO ₃
TEF	– równoważny współczynnik toksyczności związku względem toksyczności 2,3,7,8-TCDD (tetrachlorodibenzodioxyna) (ang. <i>Toxic Equivalency Factor</i>)
TEQ	– równoważna toksyczność (ang. <i>Toxic Equivalency Quantity</i>)
UF	– ultrafiltracja
WAO	– utlenianie w podkrytycznej wodzie (ang. <i>Wet Air Oxidation</i>)
WBCSD	– Światowa Rada Przedsiębiorców dla Oceny Zrównoważonego Rozwoju (ang. <i>World Business Council for Sustainable Development</i>)
WHO	– Światowa Organizacja Zdrowia (ang. <i>World Health Organization</i>)
WWA	– wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (ang. <i>PAHs - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i>)

WPROWADZENIE

Czyste technologie są nowatorskimi rozwiązaniami, które niejednokrotnie nie mogłyby zaistnieć gdyby nie rozwój inżynierii materiałowej, inżynierii procesowej, chemii, biologii i wielu innych dziedzin nauki i techniki. Każda dziedzina przemysłu, zmierzając do czystej produkcji i oszczędności surowców naturalnych, musi mieć swoje własne rozwiązania, jednak wiele procesów cząstkowych występujących w różnych działach przemysłu opiera się na tych samych osiągnięciach zwanych czystymi technikami. Autor pragnie przedstawić niektóre z nich jak techniki separacji przy pomocy membran, stosowanie płynów nadkrytycznych, różne techniki spalania w energetyce węglowej oraz metody biotechnologiczne. Te wybrane przykłady przybliżą Czytelnikowi pojęcie czystych technologii oraz wykażą na przykładzie energetyki węglowej jak żmudna prowadzi do nich droga.

Książka przeznaczona jest dla studentów, doktorantów i młodszych pracowników uczelni technicznych interesujących się ochroną środowiska, energetyką węglową i nowoczesnymi technikami procesów jednostkowych.