

# Spis treści

|   |           |
|---|-----------|
| Wstęp .....   | 11        |
| <b>1 Woda w przemyśle.....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1. Zasoby i rodzaje wód naturalnych .....                                     | 13        |
| 1.2. Wskaźniki jakości wód naturalnych.....                                     | 15        |
| 1.3. Właściwości wody chemicznie czystej .....                                  | 17        |
| 1.4. Zastosowanie wody w przemyśle.....   | 20        |
| 1.4.1. Zasoby i zużycie wody w Polsce .....                                     | 20        |
| 1.4.2. Woda technologiczna.....   | 22        |
| 1.4.3. Woda do celów kotłowych.....   | 24        |
| 1.4.4. Woda do celów chłodniczych .....   | 28        |
| 1.5. Podstawowe procesy uzdatniania wody przemysłowej.....                      | 33        |
| 1.5.1. Cedzenie, sedymentacja i filtracja .....                                 | 33        |
| 1.5.2. Koagulacja.....  | 35        |
| 1.5.3. Usuwanie z wody składników tworzących kamień kotłowy .....               | 39        |
| 1.5.4. Usuwanie z wody gazów powodujących korozję urządzeń.....                 | 41        |
| 1.5.5. Usuwanie z wody związków żelaza i manganu .....                          | 42        |
| 1.5.6. Korekta odczynu, odolejanie i stabilizacja wody .....                    | 45        |
| 1.5.7. Dezynfekcja wody.....  | 46        |
| Literatura.....   | 47        |
| <b>2 Wymieniacze jonowe – budowa chemiczna, właściwości i zastosowanie.....</b> | <b>49</b> |
| 2.1. Zarys rozwoju wymiennicy jonowych.....                                     | 49        |
| 2.2. Podstawowe wiadomości o wymiennicach jonowych.....                         | 50        |
| 2.3. Metody otrzymywania syntetycznych wymiennicy jonowych.....                 | 56        |
| 2.3.1. Otrzymywanie kopolimerów S/DWB .....                                     | 56        |
| 2.3.2. Wprowadzanie grup funkcyjnych do kopolimerów S/DWB.....                  | 58        |
| 2.3.3. Kopolimeryzacja chemicznie aktywnych monomerów .....                     | 59        |
| 2.4. Właściwości fizykochemiczne jonitów.....                                   | 60        |
| 2.4.1. Postać fizyczna.....   | 61        |
| 2.4.2. Pęcznienie.....  | 63        |
| 2.4.3. Zdolność wymienna .....  | 64        |
| 2.4.4. Selektywność jonitów.....  | 65        |
| 2.4.5. Regeneracja wymiennicy jonowych .....                                    | 66        |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.4.6. | Wytrzymałość wymiennicy jonowych.....                                | 67 |
| 2.5.   | Charakterystyka procesu wymiany jonowej.....                         | 69 |
| 2.6.   | Zastosowanie wymiennicy jonowych w technologii uzdatniania wody..... | 73 |
| 2.6.1. | Zmiękczenie wody.....  | 74 |
| 2.6.2. | Odsalanie wody.....  | 75 |
| 2.7.   | Inne zastosowania wymiennicy jonowych.....                           | 79 |
|        | Literatura.....  | 82 |

### **3 Wzbogacanie surowców mineralnych..... 84**

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 3.1.   | Rola procesów wzbogacania.....  | 84  |
| 3.2.   | Metody mechaniczne wzbogacania kopalin stałych.....                   | 85  |
| 3.2.1. | Operacje przygotowawcze.....  | 85  |
| 3.2.2. | Operacje wzbogacania.....   | 86  |
| 3.2.3. | Operacje wykańczające i pomocnicze.....                               | 91  |
| 3.3.   | Metody chemiczne wzbogacania kopalin stałych.....                     | 91  |
| 3.4.   | Flotacja jako podstawowa metoda wzbogacania surowców mineralnych..... | 93  |
| 3.4.1. | Charakterystyka flotacji.....   | 93  |
| 3.4.2. | Mechanizm flotacji.....   | 95  |
| 3.4.3. | Odczynniki flotacyjne.....  | 96  |
|        | Literatura.....   | 101 |

### **4 Metalurgia ciężkich metali nieżelaznych..... 103**

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 4.1.   | Klasyfikacja procesów metalurgicznych.....                | 103 |
| 4.2.   | Metalurgia miedzi.....                                    | 106 |
| 4.2.1. | Rudy miedzi i ich przygotowanie do przerobu.....          | 106 |
| 4.2.2. | Pirometalurgiczna metoda otrzymywania miedzi.....         | 107 |
| 4.2.3. | Otrzymywanie miedzi w procesach hydrometalurgicznych..... | 113 |
| 4.3.   | Metalurgia cynku.....                                     | 115 |
| 4.3.1. | Rudy cynku i ich przygotowanie do otrzymywania cynku..... | 115 |
| 4.3.2. | Otrzymywanie cynku metodą pirometalurgiczną.....          | 116 |
| 4.3.3. | Rafinacja cynku.....                                      | 117 |
| 4.3.4. | Otrzymywanie cynku metodą hydrometalurgiczną.....         | 119 |
| 4.4.   | Metalurgia ołowiu.....                                    | 121 |
| 4.4.1. | Otrzymywanie ołowiu metodą pirometalurgiczną.....         | 121 |
| 4.4.2. | Rafinacja ołowiu.....                                     | 123 |
| 4.4.3. | Recykling ołowiu z akumulatorów.....                      | 125 |
|        | Literatura.....   | 126 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>5</b> | <b>Elektrochemia.....</b>   | <b>128</b> |
| 5.1.     | Podstawy teoretyczne procesu elektrolizy.....                                 | 128        |
| 5.2.     | Elektroliza przemysłowa.....  | 132        |
| 5.2.1.   | Hydroelektrometalurgia – elektroliza wodnych roztworów .....                  | 133        |
| 5.2.2.   | Termoelektroliza – elektroliza stopionych soli.....                           | 138        |
| 5.2.3.   | Otrzymywanie związków chemicznych metodami elektrochemicznymi.....            | 139        |
| 5.2.4.   | Zastosowanie elektrolizy w ochronie środowiska .....                          | 141        |
| 5.3.     | Galwanotechnika .....   | 144        |
| 5.3.1.   | Mechanizm procesu elektrolitycznego osadzania metali .....                    | 145        |
| 5.3.2.   | Czynniki wpływające na budowę powłok galwanicznych .....                      | 146        |
| 5.3.3.   | Przygotowanie powierzchni metali pod powłoki galwaniczne .....                | 148        |
| 5.3.4.   | Procesy nakładania wybranych powłok galwanicznych .....                       | 150        |
| 5.3.5.   | Urządzenia stosowane w galwanotechnice.....                                   | 158        |
| 5.3.6.   | Metody oczyszczania ścieków galwanizatorskich .....                           | 160        |
|          | Literatura.....   | 163        |
| <b>6</b> | <b>Pigmenty.....</b>  | <b>165</b> |
| 6.1.     | Podstawowe informacje o pigmentach .....                                      | 165        |
| 6.1.1.   | Budowa i właściwości pigmentów .....  | 165        |
| 6.1.2.   | Klasyfikacja pigmentów.....   | 167        |
| 6.1.3.   | Wymagania stawiane pigmentom.....   | 169        |
| 6.2.     | Charakterystyka najważniejszych pigmentów .....                               | 170        |
| 6.2.1.   | Biele tytanowe .....  | 170        |
| 6.2.2.   | Pigmenty żelazowe .....   | 173        |
| 6.2.3.   | Pigmenty węglowe.....   | 175        |
| 6.2.4.   | Pigmenty chromowe .....   | 175        |
| 6.2.5.   | Pigmenty ultramarynowe .....  | 177        |
| 6.2.6.   | Pigmenty kadmowe .....  | 179        |
| 6.3.     | Pigmenty o specjalnych właściwościach użytkowych.....                         | 179        |
| 6.4.     | Aspekty środowiskowe i toksykologiczne produkcji i użytkowania pigmentów..... | 183        |
|          | Literatura.....   | 184        |
| <b>7</b> | <b>Szkło.....</b>   | <b>186</b> |
| 7.1.     | Definicja i budowa szkła.....   | 186        |
| 7.2.     | Właściwości szkła.....  | 188        |
| 7.3.     | Otrzymywanie szkła.....   | 192        |
| 7.3.1.   | Surowce szklarskie .....  | 192        |
| 7.3.2.   | Wytop szkła .....   | 196        |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 7.3.3. | Piece szklarskie .....   | 200 |
| 7.3.4. | Formowanie szkła .....   | 204 |
| 7.4.   | Klasyfikacja szkieł .....  | 207 |
| 7.4.1. | Szkło budowlane .....  | 207 |
| 7.4.2. | Opakowania szklane i szkło gospodarcze .....                             | 209 |
| 7.4.3. | Szkło techniczne .....   | 209 |
| 7.5.   | Oddziaływanie przemysłu szklarskiego na środowisko naturalne             | 212 |
| 7.5.1. | Emisje związane z procesem wytopu szkła .....                            | 212 |
| 7.5.2. | Odzysk i obróbka stłuczki szklanej jako surowca do produkcji szkła ..... | 214 |
| 7.6.   | Produkcja szkła w Polsce i w Europie .....                               | 217 |
|        | Literatura.....  | 218 |

## **8 Przemysł wapienniczy..... 220**

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 8.1.   | Surowce wapiennicze .....                           | 220 |
| 8.2.   | Produkty niepalone .....                            | 221 |
| 8.3.   | Produkty palone.....                                | 226 |
| 8.3.1. | Wytwarzanie wapna palonego .....                    | 226 |
| 8.3.2. | Zastosowanie wapna palonego.....                    | 232 |
| 8.3.3. | Nawozy tlenkowe wapniowe i wapniowo-magnezowe ..... | 233 |
| 8.3.4. | Wapno gaszone.....                                  | 234 |
| 8.3.5. | Wapno hydrauliczne.....                             | 237 |
|        | Literatura.....                                     | 239 |

## **9 Przemysł fosforowy..... 241**

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 9.1.   | Podstawowe informacje o nawozach fosforowych .....         | 241 |
| 9.2.   | Przemysł nawozów fosforowych .....                         | 245 |
| 9.3.   | Apatyty i fosforyty.....                                   | 246 |
| 9.4.   | Metody otrzymywania kwasu fosforowego(V).....              | 248 |
| 9.5.   | Otrzymywanie kwasu fosforowego(V) metodą ekstrakcyjną..... | 251 |
| 9.6.   | Środowiskowe skutki produkcji kwasu fosforowego(V).....    | 253 |
| 9.7.   | Otrzymywanie superfosfatu.....                             | 256 |
| 9.7.1. | Superfosfat prosty .....                                   | 256 |
| 9.7.2. | Superfosfat potrójny.....                                  | 259 |
| 9.8.   | Fosforany paszowe.....                                     | 260 |
| 9.9.   | Alternatywne źródła fosforu .....                          | 261 |
|        | Literatura.....  | 262 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>10</b> | <b>Nawozy mineralne.....</b>  | <b>265</b> |
| 10.1.     | Wstęp .....   | 265        |
| 10.2.     | Klasyfikacja nawozów mineralnych .....  | 268        |
| 10.3.     | Produkcja i zużycie nawozów mineralnych w Polsce .....  | 272        |
| 10.4.     | Charakterystyka nawozów mineralnych azotowych i potasowych .....                              | 275        |
| 10.4.1.   | Nawozy azotowe .....  | 275        |
| 10.4.2.   | Nawozy potasowe .....   | 280        |
| 10.5.     | Mikronawozy.....  | 281        |
| 10.6.     | Nawozy wieloskładnikowe.....  | 282        |
| 10.7.     | Nawozy płynne .....   | 283        |
| 10.8.     | Dawki nawozów .....   | 284        |
| 10.9.     | Negatywny wpływ nawożenia na środowisko .....   | 285        |
|           | Literatura.....   | 286        |
| <b>11</b> | <b>Sól kamienna jako surowiec chemiczny.....</b>  | <b>289</b> |
| 11.1.     | Geneza i występowanie złóż soli kamiennej.....  | 289        |
| 11.2.     | Wydobycie, przerób i zastosowania soli kamiennej.....   | 291        |
| 11.3.     | Elektroliza wodnego roztworu chlorku sodu.....  | 294        |
| 11.3.1.   | Wprowadzenie.....   | 294        |
| 11.3.2.   | Metoda przeponowa (diafragmowa) .....   | 297        |
| 11.3.3.   | Metoda rtęciowa .....   | 299        |
| 11.3.4.   | Metoda membranowa.....  | 304        |
| 11.3.5.   | Porównanie metod.....   | 306        |
| 11.4.     | Chlor oraz wodorotlenek sodu jako jedne z najważniejszych pół-<br>produktów chemicznych ..... | 307        |
| 11.5.     | Otrzymywanie i zastosowania sody .....  | 312        |
| 11.6.     | Otrzymywanie i zastosowanie sodu metalicznego .....   | 316        |
| 11.7.     | Otrzymywanie i zastosowanie siarczanu(VI) sodu.....   | 317        |
|           | Literatura.....   | 318        |
|           | Dodatek – Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych .....   | 321        |
|           | Spis rysunków .....   | 345        |
|           | Spis tabel .....  | 349        |



# Wstęp

Skrypt *Technologia chemiczna nieorganiczna – wybrane zagadnienia* przeznaczony jest dla studentów Wydziału Inżynieryjno-Ekonomicznego Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, którzy odbywają studia na kierunku zarządzanie i inżynieria produkcji – specjalność inżynieria produktów chemicznych. Przedmiot technologia chemiczna nieorganiczna realizowany jest na drugim roku studiów I stopnia, stacjonarnych i niestacjonarnych i obejmuje wykład oraz ćwiczenia laboratoryjne. Studenci, którzy rozpoczynają ten przedmiot, powinni mieć zaliczone kursy chemii ogólnej i nieorganicznej oraz podstaw technologii chemicznej. Materiał zawarty w skrypcie ma być pomocny studentom w cotygodniowym przygotowaniu się do zajęć laboratoryjnych, a następnie w przygotowaniu się do egzaminu. W poprzednich latach studenci przygotowujący się do zajęć z technologii chemicznej nieorganicznej korzystali z następujących skryptów pochodzących z naszej Katedry:

1) R. Bogoczek, J. Surowiec, *Technologia chemiczna nieorganiczna*, Wydawnictwo Uczelniane Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 1989,

2) pracy zbiorowej pod redakcją R. Bogoczka, *Materiały pomocnicze do ćwiczeń i wykładów z technologii nieorganicznej*, Wydawnictwo Uczelniane Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 1989.

Skrypt *Technologia chemiczna nieorganiczna – wybrane zagadnienia* zawiera rozdziały związane tematycznie z poszczególnymi ćwiczeniami laboratoryjnymi, instrukcje do tych ćwiczeń zamieszczono na końcu skryptu jako „Dodatek”.

W kolejnych rozdziałach omówiono następujące zagadnienia:

- zasoby i charakterystykę wód naturalnych, znaczenie i wykorzystanie wody w przemyśle, procesy uzdatniania wód do celów przemysłowych (dość szeroko ujęto procesy jonitowe ze względu na specjalizację naukową Katedry),
- procesy wzbogacania surowców mineralnych (rud metali), ze szczególnym uwzględnieniem procesu flotacji,
- metalurgię metali nieżelaznych – miedzi, cynku i ołowiu,
- procesy elektrochemiczne (w wodnych roztworach i solach stopionych), z uwzględnieniem elektrorafinacji, galwanotechniki i wykorzystania tych procesów do otrzymywania produktów chemicznych,
- klasyfikację, charakterystykę i funkcje pigmentów w wyrobach gotowych,
- otrzymywanie szkła, jego rodzaje, właściwości, zastosowanie szkła jako materiału konstrukcyjnego i opakowaniowego, a także oddziaływanie przemysłu szklarskiego na środowisko naturalne,
- surowce wapiennicze, produkty niepalone i palone, znaczenie wyrobów przemysłu wapienniczego w budownictwie, rolnictwie i ochronie środowiska,
- przemysł fosforowy obejmujący m.in. produkcję kwasu fosforowego, nawozów fosforowych, fosforanów paszowych i podstawowych soli wchodzących w skład

wyrobów gotowych, wskazano zagrożenia środowiskowe wynikające z funkcjonowania tej gałęzi przemysłu,

- klasyfikację, funkcję i znaczenie nawozów mineralnych we współczesnej gospodarce, ze szczególnym uwzględnieniem nawozów azotowych i potasowych,
- charakterystykę, metody przerobu i zastosowanie soli kamiennej (m.in. produkcję chloru, wodorotlenku sodu, węglaanu sodu, siarczanu sodu i sodu metalicznego).

„Dodatek” zawiera 12 instrukcji do ćwiczeń laboratoryjnych, w ramach których realizuje się procesy i operacje chemiczne w skali laboratoryjnej. Zakres tematyczny ćwiczeń obejmuje:

- badanie różnych rodzajów wód z wykorzystaniem analizy miareczkowej kolorymetrycznej, potencjometrycznej i konduktometrycznej,
- badanie właściwości wymiennicy jonowych,
- oczyszczanie roztworów poelektrolitycznych z wykorzystaniem procesu wymiany jonowej,
- wzbogacanie kopalni metodą flotacji,
- otrzymywanie metali i ich stopów w procesach termicznych,
- elektrolityczne miedziowanie i niklowanie jako przykłady procesów galwanicznych,
- otrzymywanie wybranego pigmentu i jego chemiczną analizę,
- otrzymywanie szkła i badanie jego właściwości,
- termiczny rozkład kamienia wapiennego i analizę produktu,
- otrzymywanie nawozów fosforowych – superfosfatu prostego i potrójnego,
- oznaczanie zawartości  $P_2O_5$  w nawozach fosforowych metodą spektrofotometryczną,
- otrzymywanie kwasu solnego przez rozkład soli kamiennej.

Skrypt jest pracą zbiorową. Autorami rozdziałów są pracownicy Katedry Technologii Chemicznej na Wydziale Inżynieryjno-Ekonomicznym. Podczas redagowania niniejszego opracowania korzystano ze źródeł literaturowych, takich jak: podręczniki, artykuły w czasopismach naukowo-technicznych (zwłaszcza w miesięczniku „Przemysł Chemiczny”), akty prawne, karty charakterystyk produktów chemicznych, roczniki statystyczne. Wykorzystano również dane ze stron internetowych zakładów przemysłowych, a także informacje uzyskiwane na przestrzeni lat podczas zajęć terenowych ze studentami odbywających się w zakładach przemysłowych Dolnego i Górnego Śląska.

Odbiorcami skryptu, oprócz studentów UE we Wrocławiu, mogą być też inne osoby zainteresowane technologią chemiczną nieorganiczną, zwłaszcza studenci studiów przyrodniczych i technicznych, a także pracownicy zakładów przemysłowych.