

# Spis treści

|   |      |
|---|------|
| <b>Przedmowa do wydania pierwszego</b> . . . . .            | XVII |
| <b>Przedmowa do wydania drugiego</b> . . . . .              | XIX  |
| <b>Stosowane skróty</b> . . . . .                           | XXI  |
| <b>Chemia środowiska w perspektywie globalnej</b> . . . . . | XXV  |
| <b>1. CHEMIA ŚRODOWISKA</b> . . . . .                       | 1    |
| Wczesna historia Ziemi . . . . .                            | 1    |
| Początki życia . . . . .                                    | 2    |
| Współczesna Ziemia . . . . .                                | 3    |
| <b>1.1. Problemy rozpatrywane w tej książce</b> . . . . .   | 4    |
| Układy i otoczenie w chemii środowiska . . . . .            | 4    |
| O czym jest ta książka . . . . .                            | 6    |
| <b>1.2. Składniki środowiska</b> . . . . .                  | 7    |
| Podział substancji między jej różne postaci . . . . .       | 8    |
| <b>1.3. Procesy chemiczne</b> . . . . .                     | 10   |
| <b>1.4. Skutki antropogeniczne</b> . . . . .                | 14   |
| Pytania Fermiego . . . . .                                  | 16   |
| Podsumowanie . . . . .                                      | 17   |
| Literatura uzupełniająca . . . . .                          | 18   |

## CZĘŚĆ A ATMOFERA ZIEMSKA

|   |    |
|---|----|
| <b>2. ATMOSFERA ZIEMSKA</b> . . . . .   | 21 |
| <b>2.1. Atmosfera ziemska — powietrze, którym oddychamy</b> . . . . .               | 21 |
| Stratyfikacja atmosfery . . . . .   | 22 |
| Ciśnienie atmosferyczne . . . . .   | 24 |
| <b>2.2. Wpływ promieniowania słonecznego na skład chemiczny atmosfery</b> . . . . . | 25 |
| Troposfera . . . . .  | 27 |

|  |    |
|--|----|
| <b>2.3. Reakcje i obliczenia w chemii atmosfery</b>                                  | 29 |
| Miary stężenia składników atmosfery  | 29 |
| Typy reakcji przebiegających w atmosferze ziemskiej                                  | 30 |
| Reakcje atmosferyczne wymagające przeprowadzenia obliczeń termodynamicznych          | 30 |
| Obliczenia kinetyczne  | 34 |
| Reakcje fotochemiczne  | 36 |
| Reakcje z udziałem rodników  | 39 |
| Rodniki hydroksylowe jako substancja o znaczeniu przemysłowym                        | 42 |
| Literatura uzupełniająca   | 43 |
| Zadania  | 43 |
| <b>3. CHEMIA STRATOSFERY — OZON</b>  | 46 |
| <b>3.1. Problemy z ozonem stratosferycznym</b>                                       | 46 |
| Wpływ promieniowania słonecznego na życie roślin i zwierząt                          | 48 |
| Promieniowanie UV-B zagrożeniem dla ludzi  | 49 |
| Pomiar stężenia ozonu w atmosferze   | 50 |
| Stężenie ozonu w stratosferze  | 53 |
| <b>3.2. Chemia samego tlenu — powstawanie i aktywność molekularna ozonu</b>          | 54 |
| Cykl Chapmana  | 54 |
| Warstwa ozonu (ozonosfera)   | 57 |
| <b>3.3. Procesy katalitycznego rozkładu ozonu</b>                                    | 58 |
| Katalizatory rozkładu ozonu  | 58 |
| Katalityczne działanie indywiduów chemicznych zawierających wodór ( $\text{HO}_x$ )  | 59 |
| Katalityczne działanie indywiduów chemicznych zawierających azot ( $\text{NO}_x$ )   | 60 |
| Tlenek diazotu ( $\text{N}_2\text{O}$ )  | 60 |
| Katalityczne działanie indywiduów chemicznych zawierających chlor ( $\text{ClO}_x$ ) | 61 |
| <b>3.4. Chlorofluorowęglowodory (CFC)</b>  | 63 |
| Właściwości połączeń chlorofluorowęglowych   | 63 |
| Protokół Montrealski — historia częściowego sukcesu w międzynarodowych negocjacjach  | 65 |
| Zamienniki CFC   | 66 |
| Połączenia zawierające brom  | 69 |
| Obliczenia kinetyczne  | 70 |
| <b>3.5. Inne reakcje z udziałem ozonu stratosferycznego</b>                          | 72 |
| Cykle zerowe — reakcje, które niczego nie zmieniają                                  | 72 |
| Cykle podtrzymujące i powstawanie związków-zbiorników                                | 73 |
| <b>3.6. Powstawanie antarktycznej i arktycznej „dziury ozonowej”</b>                 | 74 |
| Literatura uzupełniająca   | 78 |
| Internet jako źródło informacji dotyczących monitoringu ozonu                        | 78 |
| Zadania  | 78 |
| <b>4. CHEMIA TROPOSFERY — SMOG</b>   | 82 |
| <b>4.1. Czym jest smog</b>   | 83 |
| Smog klasyczny   | 83 |
| Smog fotochemiczny   | 84 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>4.2. Chemia smogu fotochemicznego</b> . . . . .  | 85  |
| Chemia powstawania rodników hydroksylowych . . . . .  | 87  |
| Utlenianie węglowodorów . . . . .   | 89  |
| Reakcje wtórne (indukowane) . . . . .   | 90  |
| Charakter smogu fotochemicznego . . . . .   | 91  |
| Lotne związki organiczne i ich utlenianie . . . . .   | 92  |
| Związki nienasycone — alkeny . . . . .  | 94  |
| Związki nienasycone — alkiny . . . . .  | 95  |
| Związki nienasycone — areny . . . . .   | 95  |
| Pozornie końcowe produkty utleniania fotochemicznego — aldehydy i ketony . . . . .                        | 95  |
| Metan — węglowódor najpowszechniej występujący w atmosferze . . . . .                                     | 96  |
| Ogólne zasady utleniania lotnych związków organicznych . . . . .  | 99  |
| <b>4.3. Gazy wydechowe silników spalinowych</b> . . . . .   | 100 |
| Czterosuwowe silniki benzynowe — źródło energii większości samochodów . . . . .                           | 100 |
| Spalanie paliwa i benzyny o nowym składzie — dodatki zawierające tlen . . . . .                           | 103 |
| Typowy przykład bilansu energetycznego, w przypadku gdy zboże jest stosowane jako źródło paliwa . . . . . | 105 |
| Eter <i>tert</i> -butyloowo-metylowy — syntetyczny czynnik natleniający . . . . .                         | 106 |
| Konstrukcja silników i katalitycznych konwertyzatorów ograniczających emisję szkodliwych spalin . . . . . | 106 |
| Dwusuwowe silniki benzynowe — źródło energii mniejszych pojazdów i urządzeń . . . . .                     | 108 |
| Silniki wysokoprężne — silniki do ciężkich prac . . . . .   | 110 |
| Biopaliwa do silników wysokoprężnych . . . . .  | 112 |
| Silniki pojazdów mechanicznych jako źródło ozonu . . . . .  | 113 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .  | 115 |
| Zadania . . . . .   | 115 |
| <b>5. CHEMIA TROPOSFERY — OPAD ATMOSFERYCZNY</b> . . . . .  | 117 |
| <b>5.1. Skład chemiczny deszczu</b> . . . . .   | 118 |
| <b>5.2. Powstawanie kwasu azotowego(V) w atmosferze</b> . . . . .   | 122 |
| Chemia tlenu azotu(II) w czasie dnia . . . . .  | 122 |
| Chemia tlenu azotu(II) w czasie nocy . . . . .  | 123 |
| Usuwanie kwasu azotowego(V) z atmosfery . . . . .   | 124 |
| <b>5.3. Powstawanie kwasu siarkowego(VI) w atmosferze</b> . . . . .                                       | 124 |
| Utlenianie zredukowanych związków siarki . . . . .  | 124 |
| Reakcje homogenicznego utleniania ditlenku siarki . . . . .   | 125 |
| Reakcje heterogenicznego utleniania ditlenku siarki . . . . .   | 127 |
| Przyspieszanie utleniania ditlenku siarki na drodze katalitycznej . . . . .                               | 129 |
| Inne losy związków siarki w atmosferze . . . . .  | 130 |
| Wulkany — erupcja wulkanu Mount Pinatubo w 1991 roku . . . . .  | 130 |
| <b>5.4. Czynniki zakwaszające opad atmosferyczny</b> . . . . .  | 131 |
| <b>5.5. Chemia deszczu, śniegu i mgły — podobieństwa i różnice</b> . . . . .                              | 133 |
| Deszcz . . . . .  | 133 |
| Mgła . . . . .  | 134 |
| Śnieg . . . . .   | 135 |
| <b>5.6. Obraz globalny — źródła i odbiorniki (zlewy)</b> . . . . .  | 137 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>5.7. Ograniczanie emisji azotu i siarki ze źródeł antropogenicznych</b> . . . . .                                 | 141 |
| Spalanie w złożu fluidalnym . . . . .  | 142 |
| Modernizacja procesu odsiarczania gazów kominowych . . . . .   | 143 |
| Proces SONOX stosowany do jednoczesnego usuwania prekursorów siarki i azotu . . . . .                                | 144 |
| Przemiana węgla w postaci gazowe i ciekłe . . . . .  | 145 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .   | 146 |
| Zadania . . . . .  | 146 |
| <b>6. ATMOSFERYCZNE AEROZOLE</b> . . . . .   | 148 |
| <b>6.1. Źródła aerozoli — dokładniejsza analiza</b> . . . . .  | 152 |
| Rozpylanie z powierzchni morza . . . . .   | 152 |
| Pyły . . . . .   | 153 |
| Produkty spalania . . . . .  | 154 |
| Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) . . . . .   | 155 |
| Aerozole kondensacyjne — siarczan(VI) amonu . . . . .  | 156 |
| Zamglenie arktyczne — zanieczyszczenie atmosfery w odosobnionych obszarach . . . . .                                 | 158 |
| Organiczne zarodki kondensacji . . . . .   | 159 |
| <b>6.2. Stężenie aerozoli i czas ich życia</b> . . . . .   | 161 |
| <b>6.3. Ograniczanie zanieczyszczania powietrza cząstkami stałymi</b> . . . . .                                      | 165 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .   | 167 |
| Zadania . . . . .  | 167 |
| <b>7. WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE ATMOSFERY OBSZARÓW MIEJSKICH I WEWNĄTRZ POMIESZCZEŃ</b> . . . . .                        | 169 |
| <b>7.1. Zanieczyszczenia w atmosferze miejskiej</b> . . . . .  | 170 |
| Cząstki stałe w atmosferze . . . . .   | 172 |
| Monotlenek węgla . . . . .   | 172 |
| Ditlenek siarki . . . . .  | 172 |
| Ditlenek azotu . . . . .   | 173 |
| Ozon . . . . .   | 173 |
| Ołów . . . . .   | 173 |
| Przykład: wskaźnik jakości powietrza w USA . . . . .   | 174 |
| <b>7.2. Miasto Meksyk</b> . . . . .  | 175 |
| <b>7.3. Jakość powietrza wewnątrz pomieszczeń</b> . . . . .  | 178 |
| <b>7.4. Zanieczyszczenia najczęściej spotykane wewnątrz pomieszczeń</b> . . . . .                                    | 181 |
| Promieniotwórczość . . . . .   | 181 |
| Lotne związki organiczne . . . . .   | 185 |
| Ostatnio obserwowane problemy związane z powietrzem wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń — związki typu PBDE . . . . . | 187 |
| Emisje produktów spalania wewnątrz budynków . . . . .  | 189 |
| Pyły występujące w pomieszczeniach zamkniętych . . . . .   | 190 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .   | 192 |
| Zadania . . . . .  | 192 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>8. CHEMIA KLIMATU GLOBALNEGO</b> . . . . .   | 194 |
| <b>8.1. Skład atmosfery Ziemi</b> . . . . .   | 195 |
| <b>8.2. Bilans energetyczny</b> . . . . .   | 197 |
| Energia słoneczna . . . . .   | 197 |
| Energia słoneczna i Ziemia . . . . .  | 198 |
| <b>8.3. Gazy cieplarniane i aerozole</b> . . . . .                                      | 203 |
| Woda . . . . .  | 203 |
| Ditlenek węgla . . . . .  | 204 |
| Metan . . . . .   | 206 |
| Ozon . . . . .  | 208 |
| Tlenek azotu(I) . . . . .   | 208 |
| Chlorofluorowęglowodory i inne gazy zawierające halogeny . . . . .                      | 209 |
| Aerozole . . . . .  | 210 |
| <b>8.4. Względne znaczenie zmian stężenia gazów cieplarnianych</b> . . . . .            | 211 |
| <b>8.5. Zasoby energii</b> . . . . .  | 215 |
| <b>8.6. Gazy cieplarniane związane ze stosowaniem paliw opartych na węglu</b> . . . . . | 218 |
| Węgiel . . . . .  | 218 |
| Ropa naftowa . . . . .  | 222 |
| Gaz ziemny . . . . .  | 222 |
| Biomasa . . . . .   | 224 |
| Przekształcanie energii słonecznej w biomasę . . . . .                                  | 225 |
| Paliwa syntetyczne z zasobów opartych na biomasie . . . . .                             | 229 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .  | 229 |
| Zadania . . . . .   | 229 |

## CZĘŚĆ B HYDROSFERA

|  |     |
|--|-----|
| <b>9. HYDROSFERA</b> . . . . .   | 235 |
| Oceany . . . . .   | 235 |
| Woda słodka . . . . .  | 238 |
| <b>9.1. Fizyczne i chemiczne właściwości wody</b> . . . . .                      | 240 |
| Woda i jej osobliwe właściwości . . . . .  | 240 |
| Lód . . . . .  | 241 |
| Woda w stanie ciekłym — zmiany gęstości wraz z temperaturą . . . . .             | 241 |
| Ciekła woda jako rozpuszczalnik . . . . .  | 243 |
| Ciekła woda — kompleksowanie . . . . .   | 244 |
| Ciekła woda — właściwości kwasowo-zasadowe . . . . .                             | 245 |
| Ciekła woda — właściwości redoks . . . . .                                       | 246 |
| Para wodna . . . . .   | 247 |
| <b>9.2. Jednostki stężenia stosowane w przypadku roztworów wodnych</b> . . . . . | 248 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .   | 251 |
| Zadania . . . . .  | 251 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>10. ROZKŁAD INDYWIDUÓW CHEMICZNYCH W EKOSYSTEMACH WODNYCH</b> . . . . .          | 253 |
| <b>10.1. Wykresy jednej zmiennej</b> . . . . .                                      | 254 |
| Fosforany(V) . . . . .  | 254 |
| Kompleksy kadmu z chlorkami . . . . .   | 257 |
| Środowisko ujść rzecznych — zatoka Chesapeake jako przykład . . . . .               | 259 |
| <b>10.2. Wykresy dwóch zmiennych — diagramy pE/pH</b> . . . . .                     | 261 |
| Aktywność elektronów wyrażona jako pE . . . . .                                     | 262 |
| Metody obliczania wartości pE° . . . . .  | 264 |
| Chrom w ściekach garbarskich . . . . .  | 265 |
| Wykresy pE/pH . . . . .   | 268 |
| Granice trwałości wody . . . . .  | 268 |
| Układ siarki . . . . .  | 270 |
| Zastosowanie wykresów pE/pH . . . . .   | 276 |
| <b>10.3. Pomiary pE</b> . . . . .   | 277 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .  | 278 |
| Zadania . . . . .   | 278 |
| <b>11. GAZY WYSTĘPUJĄCE W WODZIE</b> . . . . .                                      | 281 |
| <b>11.1. Gazy proste</b> . . . . .  | 282 |
| Prawo Henry’ego opisujące równowagę między gazami w powietrzu i w wodzie . . . . .  | 282 |
| Stężenie ditlenu w wodach naturalnych . . . . .                                     | 282 |
| Tlen cząsteczkowy w wodzie morskiej . . . . .                                       | 284 |
| Prawo Henry’ego stosowane w obliczeniach „odwrotnych” . . . . .                     | 285 |
| <b>11.2. Gazy reagujące z wodą</b> . . . . .  | 287 |
| Ditlenek węgla w wodzie . . . . .   | 287 |
| Obliczanie rozpuszczalności ditlenku węgla i stężeń postaci węglanowych . . . . .   | 288 |
| Wpływ obecności skał węglanowych na rozpuszczalność ditlenku węgla . . . . .        | 288 |
| Jeziro Nyos — przykład klęski ekologicznej . . . . .                                | 291 |
| <b>11.3. Zasadowość</b> . . . . .   | 293 |
| Pojemność buforowa wody w stosunku do kwasów . . . . .                              | 293 |
| Zasadowość jako bufor w wodach naturalnych . . . . .                                | 294 |
| Zasadowość i pH . . . . .   | 295 |
| Pomiary zasadowości i jej znaczenie dla środowiska . . . . .                        | 296 |
| Jeziora w górach Adirondack i kwaśny opad atmosferyczny . . . . .                   | 299 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .  | 300 |
| Zadania . . . . .   | 300 |
| <b>12. MATERIA ORGANICZNA W WODZIE</b> . . . . .                                    | 302 |
| <b>12.1. Pochodzenie materii organicznej w wodzie</b> . . . . .                     | 304 |
| <b>12.2. Problemy środowiskowe związane z materią organiczną w wodzie</b> . . . . . | 306 |
| Toksyczność określonych związków organicznych . . . . .                             | 306 |
| Reakcja z innymi połączeniami występującymi w wodzie . . . . .                      | 307 |
| Zużycie tlenu . . . . .   | 307 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>12.3. Materiał huminowy (humusowy)</b> . . . . .  | 308 |
| Tworzenie się materiału huminowego — szlak degradacyjny . . . . .                                      | 308 |
| Tworzenie się materiału huminowego — szlak syntetyczny . . . . .                                       | 309 |
| Skład i struktura . . . . .  | 310 |
| Postaci materiałów huminowych . . . . .  | 315 |
| Materiał huminowy w wodzie jako akceptor protonów . . . . .  | 316 |
| Materiał huminowy jako czynnik kompleksujący jony metali . . . . .                                     | 318 |
| Reakcje między materiałem huminowym i małymi cząsteczkami organicznymi . . . . .                       | 318 |
| Materiał huminowy związany z glebą lub osadem . . . . .  | 321 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .   | 322 |
| Zadania . . . . .  | 322 |
| <br>   |     |
| <b>13. METALE I PÓŁMETALE W HYDROSFERZE</b> . . . . .  | 325 |
| <br>   |     |
| <b>13.1. Akwakompleksy metali</b> . . . . .  | 328 |
| <br>   |     |
| <b>13.2. Klasyfikacja metali</b> . . . . .   | 331 |
| Tradycyjne klasyfikacje metali . . . . .   | 331 |
| Środowiskowa klasyfikacja metali . . . . .   | 334 |
| Kompleksy z materiałem huminowym . . . . .   | 337 |
| Postaci metali w wodzie i biodostępność . . . . .  | 341 |
| <br>   |     |
| <b>13.3. Trzy metale — ich zachowanie się w hydrosferze</b> . . . . .                                  | 342 |
| Wapń . . . . .   | 342 |
| Miedź . . . . .  | 343 |
| Rtęć . . . . .   | 344 |
| Rtęć w dorzeczu Amazonki . . . . .   | 347 |
| <br>   |     |
| <b>13.4. Kompleksy metali z ligandami pochodzenia antropogenicznego</b> . . . . .                      | 349 |
| Kwas nitrylotrioctowy w wodzie . . . . .   | 350 |
| <br>   |     |
| <b>13.5. Zawiesiny w hydrosferze — połączenia metali</b> . . . . .                                     | 353 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .   | 354 |
| Zadania . . . . .  | 354 |
| <br>   |     |
| <b>14. CHEMIA ŚRODOWISKOWA KOLOIDÓW I POWIERZCHNI</b> . . . . .  | 356 |
| Powierzchnia właściwa . . . . .  | 359 |
| <br>   |     |
| <b>14.1. Właściwości powierzchni materiałów koloidalnych</b> . . . . .                                 | 360 |
| Ładunek powierzchniowy . . . . .   | 360 |
| Podwójna warstwa elektryczna . . . . .   | 363 |
| Wymiana jonowa związana z adsorpcją elektrostatyczną . . . . .   | 364 |
| Zatrzymywanie substancji chemicznych na powierzchni koloidów w wyniku adsorpcji specyficznej . . . . . | 365 |
| <br>   |     |
| <b>14.2. Ilościowy opis adsorpcji I</b> . . . . .  | 366 |
| Równanie Langmuira . . . . .   | 366 |
| <br>   |     |
| <b>14.3. Chemia fosforu w środowisku naturalnym</b> . . . . .  | 369 |
| Odnowa zeutrofizowanego zbiornika wodnego — zatoka Quinte . . . . .                                    | 374 |
| <br>   |     |
| <b>14.4. Ilościowy opis adsorpcji II</b> . . . . .   | 377 |
| Równanie Freundlicha . . . . .   | 377 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>14.5. Podział substancji organicznych o małych cząsteczkach między wodę i glebę lub osad</b> . . . . . | 379 |
| Stała podziału $K_d$ . . . . .  | 379 |
| Sorpccja substancji organicznych na występujących w środowisku ciałach stałych . . . . .                  | 380 |
| Stałe podziału . . . . .  | 381 |
| Stała podziału w układzie oktanol/woda, $K_{OW}$ . . . . .  | 381 |
| Współczynniki biologicznego nagromadzenia . . . . .   | 382 |
| Inne stałe podziału stosowane do opisu rozmieszczenia substancji w środowisku . . . . .                   | 385 |
| <b>14.6. Materiał koloidalny w środowisku przyrodniczym</b> . . . . .                                     | 388 |
| Koloidy powstające w specyficznych warunkach środowiska . . . . .   | 388 |
| Minerały ilaste . . . . .   | 391 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .  | 395 |
| Zadania . . . . .   | 395 |
| <b>15. PROCESY MIKROBIOLOGICZNE</b> . . . . .   | 397 |
| <b>15.1. Klasyfikacja mikroorganizmów</b> . . . . .   | 398 |
| Klasyfikacja oparta na rodzajach drobnoustrojów . . . . .   | 398 |
| Klasyfikacja oparta na charakterystyce ekologicznej . . . . .   | 401 |
| Źródło węgla jako kryterium klasyfikacji . . . . .  | 401 |
| Źródło akceptora elektronów jako kryterium klasyfikacji . . . . .   | 402 |
| Klasyfikacja na podstawie preferencji temperaturowych . . . . .   | 403 |
| Klasyfikacja na podstawie morfologii . . . . .  | 404 |
| <b>15.2. Procesy mikrobiologiczne — cykl biogeochemiczny węgla</b> . . . . .                              | 404 |
| Substancje zawierające węgiel w wodzie i na lądzie . . . . .  | 405 |
| Rozkład (degradacja) biomasy . . . . .  | 408 |
| Biologiczne zapotrzebowanie na tlen . . . . .   | 417 |
| Inne wskaźniki obecności materii organicznej w wodzie . . . . .   | 418 |
| Biotyczna kontrola ditlenku węgla w ziemskiej atmosferze . . . . .  | 419 |
| <b>15.3. Procesy mikrobiologiczne — biogeochemiczny cykl azotu</b> . . . . .                              | 421 |
| Wiązanie azotu . . . . .  | 422 |
| Denitryfikacja . . . . .  | 423 |
| Spalanie . . . . .  | 424 |
| Amonifikacja . . . . .  | 424 |
| Nitryfikacja . . . . .  | 424 |
| Pobieranie (asymilacja) . . . . .   | 425 |
| Abiotyczna wymiana jonowa i adsorpcja . . . . .   | 426 |
| Wymywanie (ługowanie) . . . . .   | 426 |
| <b>15.4. Procesy mikrobiologiczne — biogeochemiczny cykl siarki</b> . . . . .                             | 428 |
| Uwalnianie siarki podczas rozkładu materii organicznej . . . . .  | 429 |
| Utlencianie siarczków . . . . .   | 430 |
| Redukcja siarczanów(VI) . . . . .   | 430 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .  | 431 |
| Zadania . . . . .   | 431 |
| <b>16. ZANIECZYSZCZENIA WODY I CHEMIA OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW</b> . . . . .                                  | 433 |
| Czym jest zanieczyszczenie . . . . .  | 433 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>16.1. Wytyczne dotyczące jakości wody</b> . . . . .                          | 437 |
| Woda pitna . . . . .  | 437 |
| Toksyczność . . . . .   | 437 |
| Woda do nawadniania . . . . .   | 440 |
| <b>16.2. Ścieki wodne i ich oczyszczanie</b> . . . . .                          | 442 |
| Procesy pierwszego, drugiego i trzeciego stopnia oczyszczania ścieków . . . . . | 443 |
| Koagulanty chemiczne do usuwania zmutnienia . . . . .                           | 445 |
| Koagulanty chemiczne do usuwania fosforanów(V) . . . . .                        | 448 |
| Usuwanie azotu ze ścieków wodnych . . . . .                                     | 450 |
| <b>16.3. Zaawansowane procesy mikrobiologiczne</b> . . . . .                    | 451 |
| Mikrobiologiczne usuwanie fosforu . . . . .                                     | 452 |
| Mikrobiologiczne usuwanie azotu . . . . .                                       | 452 |
| <b>16.4. Produkty końcowe pozostające po oczyszczeniu ścieków</b> . . . . .     | 454 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .  | 455 |
| Zadania . . . . .   | 455 |

## CZĘŚĆ C ŚRODOWISKO LĄDOWE

|  |     |
|--|-----|
| <b>17. ŚRODOWISKO LĄDOWE</b> . . . . .                   | 459 |
| <b>17.1. Powstawanie gleby</b> . . . . .                 | 461 |
| Mineralna materia gleby . . . . .                        | 461 |
| Wietrzenie fizyczne . . . . .                            | 462 |
| Wietrzenie chemiczne . . . . .                           | 463 |
| Organiczna materia gleby . . . . .                       | 467 |
| Zatrzymywanie ditlenku węgla przez lasy . . . . .        | 471 |
| Powstawanie gleby jako złożony proces . . . . .          | 471 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .                       | 473 |
| Zadania . . . . .  | 473 |
| <b>18. WŁAŚCIWOŚCI GLEBY</b> . . . . .                   | 475 |
| <b>18.1. Właściwości fizyczne</b> . . . . .              | 476 |
| Rozmiar cząstek . . . . .                                | 476 |
| Uziarnienie . . . . .                                    | 477 |
| Struktura . . . . .                                      | 479 |
| Przepuszczalność (przeziąkliwość) . . . . .              | 479 |
| <b>18.2. Właściwości chemiczne</b> . . . . .             | 480 |
| Pierwiastki . . . . .                                    | 480 |
| Pierwiastki dostępne . . . . .                           | 483 |
| Zdolność wymienna gleby w stosunku do kationów . . . . . | 483 |
| Gleby o zmiennym ładunku . . . . .                       | 486 |
| pH gleby . . . . .                                       | 487 |
| <b>18.3. Profile glebowe</b> . . . . .                   | 488 |
| Kanadyjska Tarcza Spodosolowa . . . . .                  | 489 |
| Tropikalny alfisol . . . . .                             | 491 |
| Podzwrotnikowy wertisol . . . . .                        | 493 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>18.4. Problemy środowiskowe związane z glebą</b> . . . . .                        | 495 |
| Utrata substancji pokarmowych w wyniku wymywania . . . . .                           | 496 |
| Zanieczyszczenie azotanami(V) pochodzącymi z rolnictwa w Wielkiej Brytanii . . . . . | 497 |
| Straty substancji pokarmowych w wyniku erozji gleby . . . . .                        | 498 |
| Reakcje z kwasami i zasadami . . . . .   | 499 |
| Geochemiczne reakcje zmniejszające kwasowość gleby . . . . .                         | 500 |
| Biologiczne procesy zmniejszające kwasowość gleby . . . . .                          | 502 |
| Kwaśne gleby siarczanowe . . . . .   | 503 |
| Gleby zmienione przez sole . . . . .   | 504 |
| Pierwiastki śladowe w glebach . . . . .  | 507 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .   | 511 |
| Zadania . . . . .  | 511 |
| <br>   |     |
| <b>19. CHEMIA ODPADÓW STAŁYCH</b> . . . . .  | 514 |
| Usuwanie masowych odpadów stałych . . . . .  | 515 |
| <br>   |     |
| <b>19.1. Odpady stałe z górnictwa i hutnictwa</b> . . . . .                          | 516 |
| Hałdy skał płonnych mało szkodliwych . . . . .                                       | 517 |
| Odpady skały płonnej z rud siarczkowych . . . . .                                    | 519 |
| Muł (szlam) czerwony . . . . .   | 521 |
| <br>   |     |
| <b>19.2. Odpady organiczne</b> . . . . .   | 522 |
| Bezpośrednie usuwanie odpadów zwierzęcych do ziemi . . . . .                         | 522 |
| Kompostowanie . . . . .  | 524 |
| Osad ściekowy . . . . .  | 527 |
| Synteza małych ilości biogazu . . . . .  | 531 |
| <br>   |     |
| <b>19.3. Mieszane odpady miejskie</b> . . . . .                                      | 533 |
| Składowanie odpadów na wysypiskach . . . . .   | 534 |
| Spalanie . . . . .   | 537 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .   | 543 |
| Zadania . . . . .  | 544 |
| <br>   |     |
| <b>20. BIOCYDY ORGANICZNE</b> . . . . .  | 546 |
| <br>   |     |
| <b>20.1. Czym są biocydy</b> . . . . .   | 546 |
| <br>   |     |
| <b>20.2. Trwałość chemiczna</b> . . . . .  | 550 |
| Reakcje fotolityczne . . . . .   | 551 |
| Reakcje nefotolityczne . . . . .   | 554 |
| Hydroliza . . . . .  | 555 |
| Utlenianie . . . . .   | 558 |
| Redukcja . . . . .   | 560 |
| Szybkości reakcji rozkładu . . . . .   | 563 |
| Obliczenia kinetyczne . . . . .  | 568 |
| <br>   |     |
| <b>20.3. Ruchliwość (mobilność) biocydów</b> . . . . .                               | 568 |
| Transport wodny . . . . .  | 568 |
| Jakie czynniki określają zdolność związku do transportu? . . . . .                   | 571 |
| Parowanie . . . . .  | 572 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>20.4. Podatność na wymywanie (ługowanie)</b> . . . . .      | 574 |
| Literatura uzupełniająca . . . . .                             | 577 |
| Zadania . . . . .  | 577 |
| <b>21. ZIEMIA W PRZYSZŁOŚCI</b> . . . . .                      | 579 |
| Człowiek na Ziemi . . . . .                                    | 580 |
| Atmosfera . . . . .  | 581 |
| Woda . . . . .   | 581 |
| Stała Ziemia . . . . .   | 582 |
| Rozwiązywanie złożonych problemów środowiska . . . . .         | 583 |
| <b>Załączniki</b> . . . . .                                    | 587 |
| <b>Literatura uzupełniająca do polskiego wydania</b> . . . . . | 600 |
| <b>Skorowidz</b> . . . . .                                     | 601 |