

**Chemia analityczna : podręcznik dla studentów. T. 2, Analiza instrumentalna / naukowa Ryszard Kocjan ; autorzy: Eliza Blicharska [i 25 pozostałych]. – Wydanie 3 uaktualnione i rozszerzone. – Warszawa, © copyright 2023**

## Spis treści

### **CZĘŚĆ I. WSTĘP**

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Rozdział 1. Zagadnienia ogólne - Ryszard Kocjan</b>       | <b>19</b> |
| 1.1. Ogólna charakterystyka analizy instrumentalnej          | 19        |
| 1.2. Porównanie metod klasycznych i instrumentalnych         | 20        |
| 1.3. Zarys rozwoju instrumentalnych metod analizy chemicznej | 22        |
| 1.4. Podział instrumentalnych metod analizy chemicznej       | 23        |
| 1.4.1. Metody optyczne                                       | 25        |
| 1.4.2. Metody spektroskopowe                                 | 26        |
| 1.4.3. Metody elektroanalityczne                             | 28        |
| 1.4.4. Metody rozdzielcze                                    | 30        |
| 1.4.5. Metody radiometryczne                                 | 30        |
| 1.4.6. Metody termooanalizy                                  | 31        |
| 1.5. Literatura książkowa                                    | 33        |

### **CZĘŚĆ II. METODY OPTYCZNE**

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>Rozdział 2. Refraktometria - Anna Błażewicz</b> | <b>37</b> |
| 2.1. Podstawy teoretyczne                          | 37        |
| 2.2. Aparatura w refraktometrii                    | 43        |
| 2.3. Zastosowanie refraktometrii                   | 46        |

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>Rozdział 3. Polarymetria - Anna Błażewicz</b> | <b>47</b> |
| 3.1. Podstawy teoretyczne                        | 47        |
| 3.1.1. Polaryzacja światła                       | 47        |
| 3.1.2. Czynność optyczna substancji              | 51        |
| 3.1.3. Skręcalność właściwa                      | 52        |
| 3.2. Aparatura polarymetryczna                   | 53        |
| 3.3. Zastosowanie polaryometrii                  | 55        |

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Rozdział 4. Nefelometria i turbidymetria - Anna Błażewicz</b>  | <b>57</b> |
| 4.1. Podstawy teoretyczne                                         | 57        |
| 4.2. Aparatura w pomiarach nefelometrycznych i turbidymetrycznych | 60        |
| 4.3. Zastosowanie nefelometrii i turbidymetrii                    | 62        |

### **CZĘŚĆ III. METODY SPEKTROSKOPOWE**

|                                                                                                                               |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Rozdział 5. Spektroskopia cząsteczkowa</b>                                                                                 | <b>65</b>      |
| 5.1. Wiadomości ogólne - <i>Władysław Gołkiewicz, Eliza Blicharska</i>                                                        | 65             |
| 5.1.1. Natura promieniowania elektromagnetycznego                                                                             | 65             |
| 5.1.2. Cechy promieniowania elektromagnetycznego                                                                              | 66             |
| 5.1.3. Sposoby gromadzenia energii przez cząsteczki                                                                           | 68             |
| 5.1.4. Aparatura, proces absorpcji, miara absorpcji                                                                           | 70             |
| 5.2. Widma oscylacyjno-rotacyjne i rodzaje drgań<br>- <i>Władysław Gołkiewicz, Eliza Blicharska</i>                           | 73             |
| 5.3. Rejestracja widma IR - spektrofotometrii IR - <i>Władysław Gołkiewicz, Eliza Blicharska</i>                              | 75             |
| 5.3.1. Źródła promieniowania                                                                                                  | 76             |
| 5.3.2. Detektory                                                                                                              | 76             |
| 5.3.3. Rejestratory, komputery                                                                                                | 76             |
| 5.3.4. Metodyka badań                                                                                                         | 77             |
| 5.3.5. Zastosowanie spektroskopii w podczerwieni. Przykłady interpretacji widm                                                | 78             |
| 5.4. Spektroskopia w ultrafiolecie i w świetle widzialnym (UV-VIS)<br>- <i>Władysław Gołkiewicz, Eliza Blicharska</i>         | 82             |
| 5.4.1. Pojęcia podstawowe. Rodzaje przejść elektronowych                                                                      | 82             |
| 5.4.2. Prawa absorpcji                                                                                                        | 87             |
| 5.4.3. Przyczyny odchyłeń od praw absorpcji                                                                                   | 89             |
| 5.4.4. Aparatura w spektrofotometrii UV-VIS                                                                                   | 91             |
| 5.4.5. Analiza ilościowa                                                                                                      | 95             |
| 5.4.5.1. Dobór warunków oznaczania                                                                                            | 95             |
| 5.4.5.2. Metoda krzywej kalibracyjnej                                                                                         | 97             |
| 5.4.5.3. Oznaczanie stężenia składników w mieszaninach                                                                        | 98             |
| 5.4.5.4. Czułość oznaczeń spektrofotometrycznych                                                                              | 101            |
| 5.4.5.5. Dokładność i precyzja metod spektrofotometrycznych                                                                   | 102            |
| 5.4.6. Zasadnicze podobieństwa i różnice kolorymetrii, absorpcjometrii i spektrofotometrii                                    | 102            |
| 5.5. Spektrometria fluorescencyjna cząsteczkowa - <i>Władysław Gołkiewicz, Eliza Blicharska</i>                               | 103            |
| 5.5.1. Fluorymetria i spektrofluorymetria                                                                                     | 106            |
| 5.5.1.1. Aparatura fluorymetryczna                                                                                            | 107            |
| 5.6. Spektroskopia ramanowska - <i>Anna Sroka-Bartnicka</i>                                                                   | 108            |
| 5.6.1. Obrazowanie w spektroskopii Ramana                                                                                     | 110            |
| 5.6.2. Zastosowanie spektroskopii ramanowskiej                                                                                | 110            |
| 5.6.3. Porównanie spektroskopii FT-IR i Ramana                                                                                | 111            |
| <br><b>Rozdział 6. Spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego</b><br>- <i>Władysław Gołkiewicz, Anna Sroka-Bartnicka</i> | <br><b>113</b> |
| 6.1. Podstawy teoretyczne NMR                                                                                                 | 113            |
| 6.2. Rejestracja widma NMR                                                                                                    | 116            |
| 6.3. Ekranowanie jądra i przesunięcie chemiczne                                                                               | 117            |
| 6.4. Sprzężenie spinowo-spinowe. Interpretacja widma                                                                          | 121            |
| 6.5. Jądrowy rezonans magnetyczny innych jąder                                                                                | 125            |

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.6. Spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego węgla $^{13}\text{C}$ NMR | 126 |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|

## **Rozdział 7. Spektrometria mas** - *Władysław Gołkiewicz, Anna Sroka-Bartnicka* **129**

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1. Zasada powstawania widma mas techniką EI                   | 129 |
| 7.2. Aparatura do spektrometrii mas                             | 132 |
| 7.3. Metody jonizacji                                           | 132 |
| 7.3.1. Jonizacja wiązką elektronów (EI)                         | 133 |
| 7.3.2. Jonizacja chemiczna (CI)                                 | 133 |
| 7.3.3. Spektrometria mas jonów wtórnych                         | 134 |
| 7.3.4. Jonizacja chemiczna pod ciśnieniem atmosferycznym (APCI) | 134 |
| 7.3.5. Jonizacja przez elektrorozpylanie (ESI)                  | 135 |
| 7.3.6. Desorpcyjna jonizacja przez elektrorozpylanie (DESI)     | 135 |
| 7.3.7. Desorpcja/jonizacja lasera wspomaganą matrycą (MALDI)    | 136 |
| 7.4. Metody obrazowania spektrometrii mas (MSI)                 | 137 |
| 7.5. Ogólne zasady fragmentacji technikami EI i CI              | 137 |
| 7.6. Interpretacja widma mas                                    | 139 |

## **Rozdział 8. Spektroskopia atomowa** - *Ireneusz Sowa, Ryszard Świeboda* **143**

|                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1. Podstawy teoretyczne                                                                                              | 143 |
| 8.2. Metody absorpcyjne                                                                                                | 145 |
| 8.2.1. Atomowa spektrometria absorpcyjna (AAS)                                                                         | 146 |
| 8.2.1.1. Aparatura do atomowej spektrometrii absorpcyjnej                                                              | 149 |
| 8.2.1.2. Interferencje                                                                                                 | 161 |
| 8.2.1.3. Specyfika wysokorozdzielczej absorpcyjnej spektrometrii atomowej z ciągłym źródłem promieniowania (HR-CS AAS) | 163 |
| 8.2.1.4. Metodyka pomiarów w AAS                                                                                       | 164 |
| 8.2.1.5. Zastosowanie atomowej spektrometrii absorpcyjnej                                                              | 165 |
| 8.2.2. Absorpcja rentgenowska                                                                                          | 165 |
| 8.3. Metody emisyjne                                                                                                   | 167 |
| 8.3.1. Widma emisyjne atomów                                                                                           | 168 |
| 8.3.2. Fotometria płomieniowa                                                                                          | 170 |
| 8.3.2.1. Aparatura do fotometrii płomieniowej                                                                          | 170 |
| 8.3.2.2. Zastosowania fotometrii płomieniowej                                                                          | 173 |
| 8.3.3. Spektrografia emisyjna                                                                                          | 174 |
| 8.3.4. Spektrometria emisyjna                                                                                          | 176 |
| 8.3.5. Fluorescencja rentgenowska                                                                                      | 180 |
| 8.3.6. Fluorescencja atomowa                                                                                           | 181 |

## **CZĘŚĆ IV. METODY ELEKTROANALITYCZNE**

## **Rozdział 9. Potencjometria** - *Mirosław Hawrył* **185**

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 9.1. Podstawy teoretyczne           | 185 |
| 9.2. Elektrody                      | 191 |
| 9.2.1. Elektrody pierwszego rodzaju | 191 |

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.2.2. Elektrody drugiego rodzaju                                | 193 |
| 9.2.3. Elektrody trzeciego rodzaju                               | 196 |
| 9.2.4. Elektrody redoks                                          | 196 |
| 9.2.5. Inne elektrody                                            | 197 |
| 9.2.6. Elektrody jonoselektywne                                  | 198 |
| 9.2.6.1. Elektrody szklane                                       | 198 |
| 9.2.6.2. Elektrody membranowe krystaliczne                       | 205 |
| 9.2.6.3. Elektrody z ciekłym wymiennikiem jonowym                | 209 |
| 9.2.6.4. Elektrody jonoselektywne uczulane                       | 214 |
| 9.2.7. Nowoczesne czujniki (sensory) elektrochemiczne            | 215 |
| 9.3. Aparatura potencjometryczna                                 | 218 |
| 9.4. Potencjometria bezpośrednia                                 | 220 |
| 9.4.1. Pehametria                                                | 220 |
| 9.4.2. Inne bezpośrednie zastosowania potencjometrii             | 227 |
| 9.5. Miareczkowanie potencjometryczne                            | 231 |
| 9.5.1. Metody wykonania miareczkowań potencjometrycznych         | 236 |
| 9.5.1.1. Miareczkowanie klasyczne                                | 236 |
| 9.5.1.2. Miareczkowanie do punktu zerowego                       | 236 |
| 9.5.1.3. Miareczkowanie różnicowe                                | 237 |
| 9.5.1.4. Miareczkowanie z dwumetalicznym układem elektrod        | 239 |
| 9.5.1.5. Miareczkowanie potencjometryczne z kontrolowanym prądem | 239 |
| 9.5.2. Metody wyznaczania PK miareczkowania potencjometrycznego  | 240 |
| 9.5.3. Automatyzacja miareczkowania potencjometrycznego          | 244 |
| 9.6. Dokładność i precyzja oznaczeń potencjometrycznych          | 246 |

## **Rozdział 10. Elektroliza i kulometria - Mirosław Hawrył,**

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| <i>Grzegorz Józwiak</i>                                   | 247 |
| 10.1. Elektroliza                                         | 247 |
| 10.1.1. Podstawy teoretyczne                              | 247 |
| 10.1.1.1. Prawa elektrolizy                               | 248 |
| 10.1.1.2. Polaryzacja i nad napięcie, napięcie rozkładowe | 249 |
| 10.1.2. Rozdzielanie elektrolityczne                      | 252 |
| 10.1.3. Elektrogravimetria                                | 254 |
| 10.1.3.1. Elektrogravimetria klasyczna                    | 254 |
| 10.1.3.2. Elektrogravimetria z kontrolowanym potencjałem  | 255 |
| 10.1.3.3. Elektrogravimetria wewnętrzna                   | 259 |
| 10.1.3.4. Przykłady oznaczeń elektrogravimetrycznych      | 260 |
| 10.2. Kulometria                                          | 261 |
| 10.2.1. Podstawy teoretyczne                              | 261 |
| 10.2.2. Aparatura kulometryczna                           | 261 |
| 10.2.3. Kulometria potencjostatyczna                      | 265 |
| 10.2.4. Kulometria amperostatyczna                        | 267 |
| 10.2.5. Miareczkowanie kulometryczne                      | 267 |
| 10.2.6. Przykłady oznaczeń kulometrycznych                | 270 |
| 10.2.6.1. Kulometria potencjostatyczna                    | 270 |
| 10.3. Dokładność i precyzja metod elektrogravimetrycznych |     |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| i kulometrycznych | 272 |
|-------------------|-----|

|                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Rozdział 11. Polarografia i woltamperometria - Jerzy Kuczyński, Magdalena Pizoń</b> | <b>273</b> |
| 11.1. Podstawy teoretyczne polarografii i woltamperometrii                             | 273        |
| 11.2. Polarografia i podział metod polarograficznych                                   | 275        |
| 11.3. Woltamperometria                                                                 | 282        |
| 11.3.1. Techniki woltamperometryczne                                                   | 282        |
| 11.3.1.1. Woltamperometria z liniowo zmieniającym się potencjałem                      | 282        |
| 11.3.1.2. Woltamperometria cykliczna                                                   | 284        |
| 11.3.1.3. Woltamperometria inwersyjna (odwrócona, strippingowa)                        | 285        |
| 11.3.2. Układ pomiarowy                                                                | 289        |
| 11.3.2.1. Elektrody                                                                    | 290        |
| 11.3.2.2. Rodzaje prądów w układzie pomiarowym i elektrolit podstawowy                 | 298        |
| 11.3.2.3. Redukcja tlenu na elektrodzie rtęciowej                                      | 301        |
| 11.3.3. Analiza jakościowa                                                             | 302        |
| 11.3.4. Analiza ilościowa                                                              | 304        |
| 11.3.5. Znaczenie analityczne woltamperometrii inwersyjnej                             | 307        |

|                                                                                        |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Rozdział 12. Miareczkowanie amperometryczne - Jerzy Kuczyński, Grzegorz Jóźwiak</b> | <b>309</b> |
| 12.1. Podstawy teoretyczne                                                             | 309        |
| 12.1.1. Wirująca elektroda platynowa (mikroelektroda platynowa)                        | 309        |
| 12.2. Miareczkowanie z jedną elektrodą spolaryzowaną                                   | 310        |
| 12.2.1. Krzywe miareczkowania i przykłady oznaczeń                                     | 310        |
| 12.3. Miareczkowanie z dwiema elektrodami spolaryzowanymi („do martwego punktu”)       | 312        |
| 12.3.1. Krzywe miareczkowania i przykłady oznaczeń                                     | 314        |
| 12.4. Aparatura i zastosowanie miareczkowania amperometrycznego                        | 315        |

|                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Rozdział 13. Konduktometria - Jerzy Kuczyński, Beata Polak</b> | <b>319</b> |
| 13.1. Podstawy teoretyczne                                        | 319        |
| 13.2. Przewodność właściwa i molowa                               | 320        |
| 13.2.1. Pomiar przewodności                                       | 325        |
| 13.3. Konduktometria bezpośrednia                                 | 326        |
| 13.4. Miareczkowanie konduktometryczne                            | 328        |
| 13.4.1. Miareczkowanie kwas-zasada, mieszanina kwasów (zasad)     | 328        |
| 13.4.2. Miareczkowanie strąceniowe                                | 331        |
| 13.5. Konduktometria bezkontaktowa (bezelektrodowa)               | 334        |
| 13.6. Zastosowanie konduktometrii                                 | 335        |

## **CZĘŚĆ V. METODY ROZDZIELCZE**

|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Rozdział 14. Chromatografia</b>                            | <b>339</b> |
| 14.1. Zarys historyczny i podstawy teoretyczne chromatografii |            |

|                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| - Edward Soczewiński                                                                         | <b>339</b> |
| 14.1.1. Definicja chromatografii                                                             | 340        |
| 14.1.2. Parametry chromatograficzne                                                          | 342        |
| 14.1.3. Sprawność i selektywność                                                             | 344        |
| 14.1.4. Podstawowe mechanizmy retencji                                                       | 346        |
| 14.1.4.1. Podziałowy mechanizm retencji                                                      | 347        |
| 14.1.4.2. Adsorpcyjny mechanizm retencji                                                     | 347        |
| 14.1.4.3. Jonowymienny mechanizm retencji                                                    | 349        |
| 14.1.4.4. Żelowo-permeacyjny mechanizm retencji                                              | 350        |
| 14.1.4.5. Inne mechanizmy retencji                                                           | 350        |
| 14.1.5. Klasyfikacja metod chromatograficznych                                               | 351        |
| 14.1.6. Przygotowanie próbek do analizy                                                      | 351        |
| 14.2. Chromatografia gazowa GC - <i>Wojciech Markowski, Andrzej Torbicz</i>                  | 352        |
| 14.2.1. Definicja i charakter chromatografii gazowej                                         | 352        |
| 14.2.2. Opis chromatogramu w chromatografii gazowej                                          | 353        |
| 14.2.3. Chromatograf gazowy                                                                  | 357        |
| 14.2.3.1. Gaz nośny                                                                          | 357        |
| 14.2.3.2. Dozowanie i dozowniki                                                              | 358        |
| 14.2.3.3. Kolumny chromatograficzne                                                          | 362        |
| 14.2.3.4. Detektory w chromatografii gazowej                                                 | 368        |
| 14.2.4. Identyfikacja pików                                                                  | 375        |
| 14.2.5. Analiza ilościowa                                                                    | 375        |
| 14.2.6. Chromatografia fluidalna                                                             | 381        |
| 14.3. Chromatografia cieczowa - <i>Monika Waksmundzka-Hajnos</i>                             | 382        |
| 14.3.1. Aparatura do wysokosprawnej chromatografii cieczowej kolumnowej                      | 383        |
| 14.3.2. Rozpuszczalniki                                                                      | 387        |
| 14.3.2.1. Właściwości fizyczne rozpuszczalników                                              | 387        |
| 14.3.2.2. Oddziaływania międzycząsteczkowe: faza ruchoma - próbka, polarność i siła elucyjna | 389        |
| 14.3.2.3. Klasyfikacja rozpuszczalników                                                      | 390        |
| 14.3.3. Adsorbenty                                                                           | 391        |
| 14.3.3.1. Właściwości fizyczne i podział adsorbentów                                         | 391        |
| 14.3.3.2. Adsorbenty stosowane w wysokosprawnej chromatografii cieczowej                     | 392        |
| 14.3.4. Model adsorpcji. Zależność retencji od składu eluentu                                | 397        |
| 14.3.5. Chromatografia związków o zróżnicowanej polarności. Elucja gradientowa               | 398        |
| 14.3.6. Chromatografia związków zjonizowanych                                                | 400        |
| 14.3.6.1. Metoda cofnięcia dysocjacji                                                        | 400        |
| 14.3.6.2. Chromatografia par jonowych (IPC)                                                  | 401        |
| 14.3.6.3. Chromatografia jonowymienna (IEC)                                                  | 402        |
| 14.3.7. Rozdzielanie związków chiralnych                                                     | 403        |
| 14.3.8. Chromatografia żelowa (GPC lub SEC)                                                  | 404        |
| 14.3.9. Analiza ilościowa                                                                    | 406        |
| 14.3.10. Analiza jakościowa                                                                  | 407        |

|                                                                                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 14.3.11. Przykłady zastosowań chromatografii HPLC w analizie farmaceutycznej i klinicznej          | 408        |
| 14.3.12. Techniki łączone - sprzężone                                                              | 411        |
| 14.3.12.1. Technika łączona LC-MS                                                                  | 411        |
| 14.3.12.2. Technika łączona LC-IR                                                                  | 412        |
| 14.3.12.3. Technika łączona LC-NMR                                                                 | 412        |
| 14.3.12.4. Inne techniki sprzężone z chromatografią                                                | 414        |
| 14.4. Chromatografia cienkowarstwowa - <i>Grażyna Matysik</i>                                      | 415        |
| 14.4.1. Parametry wpływające na rozdzielczość w chromatografii TLC                                 | 417        |
| 14.4.2. Adsorbenty stosowane w TLC                                                                 | 424        |
| 14.4.3. Ogólny problem elucji                                                                      | 428        |
| 14.4.3.1. Elucja gradientowa                                                                       | 428        |
| 14.4.4. Gradient fazy stacjonarnej                                                                 | 429        |
| 14.4.5. Komory i przyrządy do chromatografii TLC                                                   | 431        |
| 14.4.5.1. Komory objętościowe                                                                      | 431        |
| 14.4.5.2. Komory poziome DS                                                                        | 432        |
| 14.4.5.3. Komory do ciśnieniowej chromatografii cienkowarstwowej                                   | 433        |
| 14.4.5.4. Przyrządy do PMD i AMD                                                                   | 433        |
| 14.4.6. Rozwijanie chromatogramów i wizualizacja plamek                                            | 434        |
| 14.4.6.1. Wizualizacja rozdzielanych substancji                                                    | 436        |
| 14.4.7. Zastosowanie chromatografii TLC                                                            | 436        |
| 14.4.7.1. Analiza jakościowa                                                                       | 436        |
| 14.4.7.2. Analiza ilościowa                                                                        | 437        |
| 14.5. Chromatografia jonowa - <i>Anna Błażewicz</i>                                                | 440        |
| 14.5.1. Definicja chromatografii jonowej i podział mechanizmów rozdzielania jonów                  | 440        |
| 14.5.2. Podstawowe definicje w chromatografii jonowej                                              | 447        |
| 14.5.3. Fazy stacjonarne stosowane w IC                                                            | 448        |
| 14.5.4. Eluenty                                                                                    | 451        |
| 14.5.5. Supresja                                                                                   | 455        |
| 14.5.6. Detekcja w chromatografii jonowej                                                          | 459        |
| 14.5.7. Zalety chromatografii jonowej                                                              | 463        |
| 14.5.8. Kierunki zastosowań chromatografii jonowej                                                 | 465        |
| <b>Rozdział 15. Ekstrakcja - <i>Maciej Strzemski, Ryszard Kocjan</i></b>                           | <b>467</b> |
| 15.1. Wprowadzenie                                                                                 | 467        |
| 15.2. Wydajność ekstrakcji                                                                         | 468        |
| 15.3. Techniki ekstrakcyjne                                                                        | 469        |
| 15.3.1. Charakterystyka wybranych technik ekstrakcji ciecz-ciecz                                   | 471        |
| 15.3.2. Charakterystyka technik ekstrakcji ciało stałe-ciecz                                       | 474        |
| 15.3.3. Charakterystyka wybranych technik ekstrakcji ciecz-ciało stałe                             | 479        |
| 15.3.4. Charakterystyka technik ekstrakcji gaz-ciecz, ciecz-gaz, ciało stałe-gaz i gaz-ciało stałe | 483        |
| 15.4. Ekstrahenty                                                                                  | 485        |
| 15.4.1. Podstawy teoretyczne i ekstrahenty klasyczne                                               | 485        |
| 15.4.2. Ekstrahenty „zielonej chemii”                                                              | 487        |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 15.5. Ekstrakcja ciecz-ciecz w analizie nieorganicznej              | 490 |
| 15.5.1. Ekstrakcja jonów metali - układy ekstrakcyjne               | 492 |
| 15.5.1.1. Ekstrakcja kompleksów chelatowych                         | 493 |
| 15.5.1.2. Ekstrakcja kompleksów jonowo-asocjacyjnych (par jonowych) | 496 |
| 15.5.2. Przykłady ekstrakcji jonów metali                           | 499 |

## **Rozdział 16. Elektroforeza** - *Halina Szumiło, Sławomir Dresler, Beata Polak* **503**

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| 16.1. Podstawy teoretyczne                                         | 503 |
| 16.2. Podział metod elektroforetycznych                            | 509 |
| 16.2.1. Elektroforeza swobodna                                     | 509 |
| 16.2.2. Elektroforeza w nośnikach                                  | 509 |
| 16.2.2.1. Elektroforeza na bibule                                  | 511 |
| 16.2.2.2. Elektroforeza w żelach                                   | 512 |
| 16.2.2.3. Elektroogniskowanie (izoelektryczne ogniskowanie)        | 519 |
| 16.2.3. Przykłady zastosowania elektroforezy w analityce medycznej | 520 |
| 16.3. Przygotowanie próbek do elektroforezy                        | 523 |
| 16.4. Elektroforeza kapilarna                                      | 525 |
| 16.4.1. Ogólna charakterystyka metody                              | 525 |
| 16.4.2. Aparat do elektroforezy kapilarnej                         | 528 |
| 16.4.3. Techniki elektroforetyczne i ich charakterystyka           | 530 |
| 16.4.4. Zalety i główne wady elektroforezy kapilarnej              | 534 |

## **CZĘŚĆ VI. METODY TERMOANALITYCZNE**

### **Rozdział 17. Analiza termiczna substancji** - *Piotr Drączkowski* **537**

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 17.1. Wstęp do metod analizy termicznej                   | 537 |
| 17.2. Podział metod analizy termicznej                    | 538 |
| 17.2.1. Techniki kalorymetryczne                          | 539 |
| 17.2.2. Różnicowa kalorymetria skaningowa (DSC)           | 540 |
| 17.2.3. Izotermiczne miareczkowanie kalorymetryczne (ITC) | 542 |
| 17.2.4. Termiczna analiza różnicowa (DTA)                 | 546 |
| 17.2.5. Analiza termograwimetryczna (TGA)                 | 547 |

## **CZĘŚĆ VII. WIADOMOŚCI UZUPEŁNIAJĄCE**

### **Rozdział 18. Wybór stosowanej metody analitycznej** - *Ryszard Kocjan* **553**

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 18.1. Kryteria doboru metody analitycznej                              | 553 |
| 18.2. Metody oznaczania makro- i mikroilości niektórych rodzajów jonów | 559 |

### **Rozdział 19. Komputery i automatyzacja w laboratorium analitycznym** - *Wojciech Markowski* **567**

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| 19.1. Wiadomości podstawowe o komputerach w laboratorium | 567 |
| 19.2. Sprzężenie komputerów z przyrządami pomiarowymi    | 568 |

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 19.3. Sposoby skonfigurowania aparatów analitycznych i komputerów | 570 |
| 19.4. Systemy ekspertowe                                          | 572 |
| 19.5. Warunki stosowania komputerów w laboratoriach analitycznych | 573 |
| 19.6. Automatyzacja metod analitycznych                           | 574 |

## **Rozdział 20. Miniaturyzacja w analizie chemicznej**

- *Aneta Hałka-Grysińska, Tadeusz Dzido* **577**

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 20.1. Wiadomości ogólne                                       | 577 |
| 20.2. Miniaturyzacja wybranych etapów procesu analitycznego   | 578 |
| 20.2.1. Miniaturyzacja w przygotowaniu próbek                 | 578 |
| 20.2.2. Miniaturyzacja technik rozdzielczych                  | 580 |
| 20.2.3. Miniaturyzacja technik detekcji                       | 581 |
| 20.3. Miniaturowe kompleksowe układy analityczne              | 582 |
| 20.3.1. Teoria miniaturyzacji                                 | 582 |
| 20.3.2. Konceptcje laboratorium w chipie (LOC, Lab-on-a-chip) | 584 |
| 20.3.3. Wytwarzanie chipów                                    | 586 |
| 20.3.4. Wybrane przykłady zastosowania                        | 587 |

## **Rozdział 21. Podstawy chemometrii - Łukasz Komsta** **589**

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| 21.1. Struktura danych w chemometrii        | 589 |
| 21.2. Wstępna obróbka danych                | 590 |
| 21.3. Uczenie maszynowe                     | 592 |
| 21.4. Kompleksowość modeli chemometrycznych | 593 |
| 21.5. Walidacja modeli                      | 593 |
| 21.6. Techniki regresji wielorakiej         | 594 |
| 21.7. Analiza głównych składowych           | 595 |
| 21.8. Analiza skupień                       | 597 |

## **Rozdział 22. Obliczenia w analizie instrumentalnej - Jan Sawicki, Stanisław Przeszlakowski** **599**

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 22.1. Metody optyczne i spektroskopowe                 | 599 |
| 22.2. Metody elektroanalityczne                        | 604 |
| 22.3. Metody rozdzielcze                               | 607 |
| 22.4. Obliczenia związane z metodą wzorca zewnętrznego | 613 |
| 22.5. Obliczenia związane z metodą dodatku wzorca      | 619 |

## **Skorowidz** **623**