

# Spis treści

## 1 Wiązania chemiczne i zjawisko izomerii

1

- 1.1. Rozmieszczenie elektronów w atomie 2
- 1.2. Wiązania jonowe i kowalencyjne 3
  - 1.2.1. Związki jonowe 4
  - 1.2.2. Wiązanie kowalencyjne 6
- 1.3. Atom węgla i wiązanie kowalencyjne 7
- 1.4. Wiązania pojedyncze węgiel-węgiel 8
- 1.5. Wiązania kowalencyjne spolaryzowane 9
- 1.6. Wiązania kowalencyjne wielokrotne 11
- 1.7. Wartościowość 13
- 1.8. Zjawisko izomerii 14
- 1.9. Rysowanie wzorów strukturalnych 15
- 1.10. Skrócone wzory strukturalne 17
- 1.11. Ładunek formalny 19
- 1.12. Rezonans 21
- 1.13. Umowy dotyczące strzałek 22
- 1.14. Orbitalowa koncepcja wiązań chemicznych; wiązanie typu sigma 24
- 1.15. Zhybrydyzowane orbitale  $sp^3$  atomu węgla 25
- 1.16. Tetraedryczny atom węgla; wiązania w metanie 27
- 1.17. Klasyfikacja związków organicznych na podstawie budowy szkieletu cząsteczki 29
  - 1.17.1. Związki acykliczne 29
  - 1.17.2. Związki karbocykliczne 30
  - 1.17.3. Związki heterocykliczne 31
- 1.18. Klasyfikacja związków organicznych na podstawie rodzaju grupy funkcyjnej 32
  - Zadania dodatkowe 34

## 2 Alkany i cykloalkany; izomeria konformacyjna i geometryczna

39

- 2.1. Struktura alkanów 40
- 2.2. Nazewnictwo związków organicznych 41
- 2.3. Reguły nazewnictwa alkanów wg IUPAC 42
- 2.4. Podstawniki alkilowe i fluorowcowe (halogenowe) 44
- 2.5. Zastosowanie reguł IUPAC 46
- 2.6. Występowanie alkanów 47
- 2.7. Właściwości fizyczne alkanów i oddziaływania międzycząsteczkowe 48
- 2.8. Konformacja alkanów 50
- 2.9. Cykloalkany - nazewnictwo i konformacje 52

- 2.10. Izomeria *cis-trans* cykloalkanów 57
- 2.11. Podsumowanie wiadomości na temat izomerii 58
- 2.12. Reakcje alkanów 60
- 2.12.1. Utlenianie i spalanie – alkany jako paliwo 60
- 2.12.2. Fluorowcowanie alkanów 61
- 2.13. Wolnorodnikowy mechanizm fluorowcowania – reakcja łańcuchowa 64
  - Blizsze spojrzenie na...*
  - Gaz ziemny 47
  - Wiązania wodorowe 49
  - Kilka słów o...*
  - Izomery – możliwe i niemożliwe 58
  - Metan (gaz błotny) i doświadczenie Millera 63
  - Podsumowanie reakcji 66
  - Podsumowanie mechanizmów reakcji 66
  - Zadania dodatkowe 66

### 3 Alkeny i alkiny

71

- 3.1. Definicja i klasyfikacja 72
- 3.2. Nazewnictwo 73
- 3.3. Kilka informacji o wiązaniach podwójnych 76
- 3.4. Orbitalowy model podwójnego wiązania; wiązanie typu pi 77
- 3.5. Izomeria *cis-trans* w alkenach 79
- 3.6. Porównanie reakcji addycji (przyłączenia) i substytucji (podstawienia) 81
- 3.7. Reakcje addycji polarnej 82
  - 3.7.1. Addycja fluorowców 82
  - 3.7.2. Addycja wody (hydratacja) 83
  - 3.7.3. Addycja kwasów 83
- 3.8. Addycja niesymetrycznych reagentów do niesymetrycznych alkenów; reguła Markownikowa 84
- 3.9. Mechanizm addycji elektrofilowej do alkenów 86
- 3.10. Wyjaśnienie reguły Markownikowa 88
- 3.11. Równowaga reakcji: co sprawia, że reakcja jest możliwa? 90
- 3.12. Szybkość reakcji: jak szybko przebiega reakcja? 91
- 3.13. Borowodorowanie alkenów 94
- 3.14. Addycja wodoru 95
- 3.15. Reakcje addycji do układów sprzężonych 96
  - 3.15.1. Reakcje addycji elektrofilowej do sprzężonych dienów 96
  - 3.15.2. Cykloadycja do sprzężonych dienów: reakcja Dielsa-Aldera 98
- 3.16. Addycje wolnorodnikowe; polietylen 99
- 3.17. Utlenianie alkenów 100
  - 3.17.1. Utlenianie nadmanganianem (manganianem(VII)). Próba na obecność podwójnego wiązania 101
  - 3.17.2. Ozonoliza alkenów 101
  - 3.17.3. Inne reakcje utleniania alkenów 103
- 3.18. Wiązania potrójne 104
- 3.19. Orbitalowy model wiązania potrójnego 104
- 3.20. Reakcje addycji alkinów 105
- 3.21. Kwasowość alkinów 108
  - Blizsze spojrzenie na...*
  - Ropa naftowa 109
  - Kilka słów o...*
  - Chemia widzenia 80
  - Etylen: surowiec i hormon roślinny 102

Ropa naftowa, benzyna i liczba oktanowa	106
Podsumowanie reakcji	110
Podsumowanie mechanizmów reakcji	111
Zadania dodatkowe	112

#### 4 Węglowodory aromatyczne

117

4.1.	Kilka informacji o benzenie	118
4.2.	Wzór Kekulégo	119
4.3.	Rezonansowy model benzenu	120
4.4.	Orbitalowy model benzenu	121
4.5.	Wzory benzenu	121
4.6.	Nazewnictwo związków aromatycznych	122
4.7.	Energia rezonansu benzenu	125
4.8.	Podstawienie elektrofilowe związków aromatycznych	126
4.9.	Mechanizm substytucji elektrofilowej związków aromatycznych	127
4.9.1.	Fluorowcowanie	129
4.9.2.	Nitrowanie	129
4.9.3.	Sulfonowanie	130
4.9.4.	Alkilowanie i acylowanie	131
4.10.	Podstawniki aktywujące i dezaktywujące pierścień	131
4.11.	Podstawniki kierujące w pozycje <i>orto</i> , <i>para</i> lub <i>meta</i>	132
4.11.1.	Podstawniki kierujące w pozycje <i>orto</i> i <i>para</i>	133
4.11.2.	Podstawniki kierujące w pozycję <i>meta</i>	136
4.11.3.	Wpływ podstawników na reaktywność	137
4.12.	Znaczenie efektów kierujących w procesach syntezy	137
4.13.	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne	138
	<i>Blizsze spojrzenie na...</i>	
	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne	141
	<i>Kilka słów o...</i>	
	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne a nowotwory	139
	Aromatyczne kule: C <sub>60</sub> oraz fulereny	141
	Podsumowanie reakcji	144
	Podsumowanie mechanizmów reakcji	145
	Zadania dodatkowe	145

#### 5 Stereoizomeria

151

5.1.	Chiralność i enancjomery	152
5.2.	Centra chiralności; chiralność (asymetryczność) atomu węgla	153
5.3.	Konfiguracja i system <i>R-S</i>	157
5.4.	System <i>E-Z</i> dla izomerów <i>cis-trans</i>	161
5.5.	Światło spolaryzowane i czynność optyczna	162
5.6.	Właściwości enancjomerów	166
5.7.	Wzory rzutowe Fischera	167
5.8.	Związki o więcej niż jednym centrum chiralności; diastereoizomery	169
5.9.	Związki <i>mezo</i> ; stereoizomery kwasu winowego	171
5.10.	Stereochemia – podsumowanie definicji	173
5.11.	Stereochemia a reakcje chemiczne	174
5.12.	Rozdzielanie mieszaniny racemicznej	177
	<i>Blizsze spojrzenie na...</i>	
	Talidomid	178
	<i>Kilka słów o...</i>	
	Doświadczenia Pasteura i wyjaśnienie van't Hoffa i LeBela	164

**6 Fluorowcowe związki organiczne; reakcje podstawienia i eliminacji**

**185**

- 6.1. Substytucja nukleofilowa 186
  - 6.2. Przykłady substytucji nukleofilowej 186
  - 6.3. Mechanizmy substytucji nukleofilowej 190
  - 6.4. Mechanizm  $S_N2$  190
  - 6.5. Mechanizm  $S_N1$  193
  - 6.6. Porównanie mechanizmów  $S_N1$  i  $S_N2$  196
  - 6.7. Dehydrohalogenacja, reakcja eliminacji; mechanizmy E2 i E1 199
  - 6.8. Współzawodnictwo reakcji substytucji i eliminacji 200
  - 6.8.1. Trzeciorzędowe fluorowcopochodne 200
  - 6.8.2. Pierwszorzędowe fluorowcopochodne 201
  - 6.8.3. Drugorzędowe fluorowcopochodne 201
  - 6.9. Wielofluorowcowe pochodne alifatyczne 203
- Kilka słów o...*
- Reakcje  $S_N2$  w przyrodzie: biologiczna metylacja 197
  - Freony (CFC) a warstwa ozonowa 204
  - Fluorowcowe związki organiczne pochodzenia morskiego 206
- Podsumowanie reakcji 207  
Podsumowanie mechanizmów reakcji 207  
Zadania dodatkowe 208

**7 Alkohole, fenole i tiole**

**211**

- 7.1. Nazewnictwo alkoholi 212
  - 7.2. Podział alkoholi 213
  - 7.3. Nazewnictwo fenoli 214
  - 7.4. Wiązanie wodorowe w alkoholach i fenolach 215
  - 7.5. Kwasowość i zasadowość - przegląd 216
  - 7.6. Kwasowość alkoholi i fenoli 219
  - 7.7. Zasadowość alkoholi i fenoli 222
  - 7.8. Dehydratacja alkoholi do alkenów 222
  - 7.9. Reakcje alkoholi z halogenowodorami 224
  - 7.10. Inne sposoby otrzymywania halogenków alkilowych z alkoholi 225
  - 7.11. Alkohole i fenole - podobieństwa i różnice 226
  - 7.12. Utlenianie alkoholi do aldehydów, ketonów i kwasów karboksylowych 227
  - 7.13. Alkohole z więcej niż jedną grupą hydroksylową 229
  - 7.14. Podstawienie aromatyczne w fenolach 230
  - 7.15. Utlenianie fenoli 232
  - 7.16. Fenole jako antyoksydanty 232
  - 7.17. Tirole - siarkowe analogi alkoholi i fenoli 234
- Kilka słów o...*
- Alkohole o znaczeniu przemysłowym 214
  - Biologicznie ważne alkohole i fenole 228
  - Chinony a żuczek strzel 231
  - Włosy kręcone lub proste 234
- Podsumowanie reakcji 236  
Zadania dodatkowe 237

- 8.1. Nazewnictwo eterów 242
- 8.2. Fizyczne właściwości eterów 243
- 8.3. Etery jako rozpuszczalniki 243
- 8.4. Odczynniki Grignarda; związki metaloorganiczne 244
- 8.5. Otrzymywanie eterów 247
- 8.6. Rozszczepianie eterów 249
- 8.7. Epoksydy (oksirany) 251
- 8.8. Reakcje epoksydów 253
- 8.9. Etery cykliczne 254
  - Blizsze spojrzenie na...*
    - MTBE 247
  - Kilka słów o...*
    - Eter a znieczulenie 250
    - Epoksyd čmy brudnicy nieparki 252
  - Podsumowanie reakcji 257
  - Zadania dodatkowe 258

- 9.1. Nazewnictwo aldehydów i ketonów 262
- 9.2. Najważniejsze aldehydy i ketony 264
- 9.3. Synteza aldehydów i ketonów 265
- 9.4. Aldehydy i ketony występujące w naturze 266
- 9.5. Grupa karbonylowa 267
- 9.6. Addycja nukleofilowa do grupy karbonylowej; przegląd 269
- 9.7. Addycja alkoholi: powstawanie hemiacetali i acetali 270
- 9.8. Addycja wody; hydratacja aldehydów i ketonów 273
- 9.9. Addycja odczynników Grignarda i acetylidów 274
- 9.10. Addycja cyjanowodoru; cyjanohydryny 277
- 9.11. Addycja nukleofili azotowych 278
- 9.12. Redukcja związków karbonylowych 279
- 9.13. Utlenianie związków karbonylowych 281
- 9.14. Tautomeria keto-enolowa 282
- 9.15. Kwasowość atomu wodoru  $\alpha$ ; anion enolanowy 283
- 9.16. Wymiana deuterowa w związkach karbonylowych 285
- 9.17. Kondensacja aldolowa 286
- 9.18. Mieszana kondensacja aldolowa 287
- 9.19. Syntezy przemysłowe wykorzystujące kondensację aldolową 289
  - Kilka słów o...*
    - Uzdatnianie wody a chemia enoli/enolanów 288
  - Podsumowanie reakcji 290
  - Podsumowanie mechanizmów reakcji 291
  - Zadania dodatkowe 291

- 10.1. Nazewnictwo kwasów 296
- 10.2. Właściwości fizyczne kwasów karboksylowych 299
- 10.3. Kwasowość i stałe kwasowe 300
- 10.4. Co sprawia, że kwasy karboksylowe są kwasami? 302
- 10.5. Wpływ struktury na kwasowość; efekt indukcyjny 303
- 10.6. Przekształcanie kwasów w sole 304

- 10.7. Otrzymywanie kwasów 305
- 10.7.1. Utlenianie pierwszorzędowych alkoholi i aldehydów 305
- 10.7.2. Utlenianie bocznych łańcuchów związków aromatycznych 305
- 10.7.3. Reakcje odczynników Grignarda z dwutlenkiem węgla 306
- 10.7.4. Hydroliza cyjanków (nitryli) 307
- 10.8. Pochodne kwasów karboksylowych 310
- 10.9. Estry 311
- 10.10. Otrzymywanie estrów; estryfikacja Fischera 312
- 10.11. Mechanizm estryfikacji katalizowanej kwasem; nukleofilowa substytucja w grupie acylowej 312
- 10.12. Laktony 314
- 10.13. Zmydlanie estrów 315
- 10.14. Amonoliza estrów 316
- 10.15. Reakcja estrów z odczynnikami Grignarda 317
- 10.16. Redukcja estrów 317
- 10.17. Czynniki decydujące o aktywności związków acylowych 318
- 10.18. Halogenki acylowe 319
- 10.19. Bezwodniki kwasowe 321
- 10.20. Amidy 324
- 10.21. Pochodne kwasów karboksylowych – podsumowanie 326
- 10.22. Wodór  $\alpha$  w estrach; kondensacja Claisena 328
- Blizsze spojrzenie na...*
- Zielona chemia 310
- Kilka słów o...*
- Zielona chemia a ibuprofen: studium przypadku 308
- Tioestry: aktywowanie grup acylowych w przyrodzie 323
- Podsumowanie reakcji 331
- Podsumowanie mechanizmów reakcji 332
- Zadania dodatkowe 333

## 11 Aminy i azotowe związki pokrewne

337

- 11.1. Podział i budowa amin 338
- 11.2. Nazewnictwo amin 339
- 11.3. Właściwości fizyczne i międzycząsteczkowe oddziaływania amin 341
- 11.4. Otrzymywanie amin; alkilowanie amoniaku i amin 342
- 11.5. Otrzymywanie amin; redukcja związków nitrowych 343
- 11.6. Zasadowość amin 345
- 11.7. Porównanie zasadowości oraz kwasowości amin i amidów 348
- 11.8. Reakcje amin z mocnymi kwasami; sole amin 350
- 11.9. Aminy chiralne jako czynniki rozdziału 352
- 11.10. Acylowanie amin pochodnymi kwasów karboksylowych 353
- 11.11. Czwartorzędowe sole amoniowe 355
- 11.12. Aromatyczne związki diazoniowe 356
- 11.13. Sprzęganie soli diazoniowych; barwniki azowe 359
- Kilka słów o...*
- Alkaloidy i trująca kolumbijska żaba 351
- Podsumowanie reakcji 361
- Podsumowanie mechanizmów reakcji 362
- Zadania dodatkowe 362

## 12 Spektroskopia i określanie struktury

367

- 12.1. Podstawy spektroskopii 368

- 12.2. Spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR) 369
- 12.2.1. Pomiar widma NMR 370
- 12.2.2. Przesunięcie chemiczne i powierzchnia pików 371
- 12.2.3. Rozszczepienie spinowo-spinowe 375
- 12.3. Spektroskopia  $^{13}\text{C}$  NMR 379
- 12.4. Spektroskopia w podczerwieni 382
- 12.5. Spektroskopia w świetle widzialnym i ultrafiolecie 387
- 12.6. Spektrometria mas 389
- Blizsze spojrzenie na...*
- Spektrometria mas i datowanie węglem  $^{14}\text{C}$  392
- Kilka słów o...*
- Magnetyczny rezonans jądrowy w biologii i medycynie 380
- Zadania dodatkowe 394

### 13 Związki heterocykliczne

403

- 13.1. Pirydyna: wiązania i zasadowość 404
- 13.2. Substytucja w pirydynie 405
- 13.3. Inne sześciocząłowe heterocykle 408
- 13.4. Heterocykle pięciocząłowe: furan, pirol i tiofen 411
- 13.5. Elektrofilowa substytucja w furanie, pirolu i tiofenie 414
- 13.6. Inne pięciocząłowe heterocykle: azole 415
- 13.7. Heterocykle pięciocząłowe w skondensowanych układach z innymi pierścieniami: indole i puryny 417
- Kilka słów o...*
- Porfiryny: co sprawia, że krew jest czerwona, a trawa zielona? 416
- Morfina i inne leki zawierające azot 419
- Podsumowanie reakcji 422
- Podsumowanie mechanizmów reakcji 423
- Zadania dodatkowe 423

### 14 Polimery syntetyczne

427

- 14.1. Klasyfikacja polimerów 428
- 14.2. Wolnorodnikowa polimeryzacja łańcuchowa 428
- 14.3. Kationowa polimeryzacja łańcuchowa 434
- 14.4. Anionowa polimeryzacja łańcuchowa 435
- 14.5. Polimery stereoregularne; polimeryzacja Zieglera-Natta 436
- 14.6. Polimery dienowe: kauczuk naturalny i syntetyczny 439
- 14.7. Kopolimery 441
- 14.8. Polimeryzacja kondensacyjna: Dacron i nylon 442
- 14.9. Poliuretany i inne polimery otrzymywane w reakcji polimeryzacji kondensacyjnej 447
- Blizsze spojrzenie na...*
- Nylon 446
- Kilka słów o...*
- Poliacetylen i polimery przewodzące 438
- Polimery ulegające degradacji (degradowalne) 443
- Aramidy – najnowsze poliamidy 444
- Podsumowanie reakcji 450
- Podsumowanie mechanizmów reakcji 451
- Zadania dodatkowe 452

- 15.1. Tłuszcze stałe i oleje; triestry glicerolu 456
- 15.2. Hydrogenacja (uwodornienie) olejów roślinnych 459
- 15.3. Zmydlanie tłuszczów; mydła 460
- 15.4. Jak działają mydła? 461
- 15.5. Detergenty syntetyczne 462
- 15.6. Fosfolipidy i inne tłuszcze złożone 466
- 15.7. Prostaglandyny, leukotrieny i lipoksyny 467
- 15.8. Woski 469
- 15.9. Terpeny i steroidy 469
  - Kilka słów o...*
    - Detergenty w życiu codziennym 465
    - Prostaglandyny, aspiryna i ból 468
  - Podsumowanie reakcji 474
  - Zadania dodatkowe 474

- 16.1. Definicja i klasyfikacja 478
- 16.2. Monosacharydy 478
- 16.3. Chiralność monosacharydów; wzory rzutowe Fischera oraz cukry szeregu D i L 479
- 16.4. Pierścieniowe hemiacetalowe formy monosacharydów 483
- 16.5. Anomeryczne atomy węgla; mutarotacja 485
- 16.6. Piranozowe i furanozowe formy monosacharydów 486
- 16.7. Konformacja piranoz 487
- 16.8. Estrowe i eterowe pochodne monosacharydów 489
- 16.9. Redukcja monosacharydów 489
- 16.10. Utlenianie monosacharydów 490
- 16.11. Tworzenie glikozydów z monosacharydów 491
- 16.12. Disacharydy 493
  - 16.12.1. Maltoza 493
  - 16.12.2. Celobioza 494
  - 16.12.3. Laktoza 494
  - 16.12.4. Sacharoza 495
- 16.13. Polisacharydy 498
  - 16.13.1. Skrobia i glikogen 498
  - 16.13.2. Celuloza 499
  - 16.13.3. Inne polisacharydy 501
- 16.14. Estry fosforanowe cukrów 502
- 16.15. Deoksycukry 502
- 16.16. Aminocukry 503
- 16.17. Kwas askorbinowy (witamina C) 503
  - Kilka słów o...*
    - Słodkość i środki słodzące 497
    - Węglowodanowe substytuty tłuszczu 500
  - Podsumowanie reakcji 505
  - Zadania dodatkowe 506

- 17.1. Aminokwasy naturalne 512
- 17.2. Kwasowo-zasadowe właściwości aminokwasów 514



- 17.3. Kwasowo-zasadowe właściwości aminokwasów z więcej niż jedną grupą kwasową lub zasadową 517
- 17.4. Elektroforeza 519
- 17.5. Reakcje aminokwasów 519
- 17.6. Reakcja ninhydrynowa 520
- 17.7. Peptydy 521
- 17.8. Wiązanie disulfidowe (dwusiarczkowe) 523
- 17.9. Białka 524
- 17.10. Pierwszorzędowa struktura białek 524
- 17.10.1. Analiza aminokwasowa 524
- 17.10.2. Oznaczanie sekwencji 525
- 17.10.3. Rozkład określonych wiązań peptydowych 527
- 17.11. Logika oznaczania sekwencji 528
- 17.12. Synteza peptydów 530
- 17.13. Drugorzędowa struktura białek 534
- 17.13.1. Geometria wiązania peptydowego 534
- 17.13.2. Wiązania wodorowe 535
- 17.13.3. Helisa  $\alpha$  i struktura harmonijkowa 535
- 17.14. Trzeciorzędowa struktura: białka fibrylarne i globularne 537
- 17.15. Czwartorzędowa struktura białka 540
- Blizsze spojrzenie na...*
- Laureaci Nagrody Nobla a chemia białek 539
- Kilka słów o...*
- Niektóre naturalne peptydy 522
- Sekwencjonowanie białek a ewolucja 529
- Podsumowanie reakcji 541
- Zadania dodatkowe 542

## 18 Nukleotydy i kwasy nukleinowe

547

- 18.1. Ogólna budowa kwasów nukleinowych 548
- 18.2. Składniki kwasu deoksyrybonukleinowego (DNA) 548
- 18.3. Nukleozydy 549
- 18.4. Nukleotydy 550
- 18.5. Pierwszorzędowa struktura DNA 552
- 18.6. Sekwencjonowanie kwasów nukleinowych 552
- 18.7. Chemiczna (laboratoryjna) synteza kwasów nukleinowych 554
- 18.8. Drugorzędowa struktura DNA; podwójna helisa 555
- 18.9. Replikacja DNA 557
- 18.10. Kwasy rybonukleinowe; RNA 559
- 18.11. Kod genetyczny i biosynteza białka 561
- 18.12. Inne ważne biologicznie nukleotydy 566
- Blizsze spojrzenie na...*
- Polimerazowa reakcja łańcuchowa (PCR) 559
- Kilka słów o...*
- DNA a kryminalistyka 554
- Ludzki genom 562
- Kwasy nukleinowe i wirusy 564
- Podsumowanie reakcji 569
- Zadania dodatkowe 569

### Dodatek 573

- Energia dysocjacji wybranych wiązań 573/ Długości wybranych wiązań 573
- Kwasowość organicznych grup funkcyjnych 574/ Najważniejsze grupy funkcyjne 576

### Skorowidz 579