

**Aleksander Kołodziejczyk  
Krystyna Dzierzbicka**

**Podstawy**

**CHEMII  
organicznej**

**Tom 1**

**Gdańsk 2024**

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ  
*Janusz T. Cieśliński*

RECENZENT  
*Elżbieta Luboch*

SKŁAD I PROJEKT OKŁADKI  
*Katarzyna Olszonowicz*

Wydanie V – 2021

Wydano za zgodą  
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem  
<http://www.pg.edu.pl/wydawnictwo/katalog>

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie  
i w jakiegokolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej  
Gdańsk 2024

ISBN 978-83-7348-829-8

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

---

Dodruk IV wyd. V. Ark. wyd. 10,7, ark. druku 16,75, 690/1252

Druk i oprawa: Volumina.pl, sp. z o.o  
ul. Księża Witolda 7-9, 71-063 Szczecin, tel. 91 812 09 08

---

# SPIS TREŚCI

Wstęp .....	9
1. WIĄZANIA CHEMICZNE .....	11
1.1. Wprowadzenie .....	11
1.2. Wiązania chemiczne .....	13
1.3. Konfiguracja elektronów, orbitale atomowe .....	15
1.4. Orbitale cząsteczkowe .....	17
1.5. Hybrydyzacja .....	18
1.6. Cząsteczka metanu .....	19
1.7. Cząsteczka etanu .....	20
1.8. Swobodny obrót wokół pojedynczego wiązania, rotamery .....	20
1.9. Wiązania kowalencyjne spolaryzowane, moment dipolowy .....	24
1.10. Wiązania międzycząsteczkowe .....	27
1.10.1. Przyciąganie dipol-dipol .....	27
1.10.2. Siły dyspersyjne – van der Waalsa (Londona) .....	28
1.10.3. Wiązanie wodorowe .....	28
2. ALKANY .....	30
2.1. Wprowadzenie .....	30
2.2. Alkany alifatyczne (prostoańcuchowe) .....	31
2.3. Izoalkany – węglowodory nasycone rozgałęzione .....	32
2.4. Nomenklatura alkanów .....	32
2.4.1. Nomenklatura systematyczna wg IUPAC .....	33
2.4.2. Nomenklatura alkanów rozgałęzionych wg IUPAC .....	34
2.5. Źródła alkanów .....	36
2.5.1. Frakcje ropy naftowej (temperatura wrzenia w °C, zawartość atomów C w cząsteczkach) .....	36
2.5.2. Hydrat metanu .....	37
2.6. Wykorzystanie alkanów .....	38
2.7. Synteza alkanów .....	39
2.8. Właściwości fizyczne i fizjologiczne alkanów .....	40
2.8.1. Temperatura wrzenia .....	40
2.8.2. Temperatura topnienia .....	40
2.8.3. Rozpuszczalność .....	41
2.8.4. Gęstość .....	41
2.8.5. Palność .....	41
2.8.6. Zapach .....	41
2.9. Właściwości chemiczne alkanów (reaktywność) .....	42
2.9.1. Spalanie .....	42
2.9.2. Półspalanie .....	42
2.9.3. Niepełne spalanie .....	42
2.9.4. Bromowanie .....	42
2.9.5. Piroliza .....	42
2.9.6. Nitrowanie, sulfonowanie .....	43

2.10. Cykloalkany (węglowodory alicykliczne) .....	44
2.10.1. Nomenklatura .....	44
2.10.2. Występowanie .....	45
2.10.3. Otrzymywanie cykloalkanów .....	45
2.10.4. Właściwości fizyczne .....	46
2.10.5. Właściwości chemiczne .....	46
2.10.6. Konformacje cykloalkanów .....	48
2.10.7. Konformacje cykloheksanu .....	49
2.10.8. Izomeria <i>cis-trans</i> dipodstawionych cykloalkanów .....	51
3. HALOGENOALKANY, REAKCJE SUBSTYTUCJI .....	54
3.1. Występowanie i wykorzystanie .....	54
3.2. Nomenklatura .....	55
3.3. Otrzymywanie .....	55
3.3.1. Halogenowanie wolnorodnikowe .....	55
3.3.2. Chlorowanie utleniające .....	56
3.3.3. Addycja halogenowodoru do podwójnego (potrójnego) wiązania .....	56
3.3.4. Addycja halogenu do podwójnego (potrójnego) wiązania .....	56
3.3.5. Substytucja grupy hydroksylowej przez halogen .....	56
3.3.6. Substytucja halogenu przez inny halogen .....	56
3.4. Mechanizm reakcji halogenowania alkanów .....	57
3.4.1. Mechanizm reakcji rodnikowych .....	59
3.4.2. Regiospecyficzność reakcji halogenowania alkanów .....	60
3.4.3. Halogenowanie cykloalkanów .....	63
3.5. Izomeria .....	65
3.5.1. Izomery konstytucyjne .....	65
3.5.2. Stereoizomery .....	66
3.5.3. Sposoby rozróżniania stereoizomerów .....	68
3.5.4. Reguły pierwszeństwa wg Cahn, Ingolda i Preloga .....	69
3.5.5. Projekcja Fischera – konfiguracja względna .....	71
3.5.6. Konfiguracje cząsteczek zawierających dwa centra chiralne .....	73
3.5.7. Enancjomery .....	74
3.5.8. Stereochemia związków cyklicznych .....	75
3.6. Właściwości fizykochemiczne halogenoalkanów .....	75
3.7. Właściwości chemiczne – reaktywność halogenoalkanów .....	76
3.7.1. Substytucja nukleofilowa $S_N$ .....	77
3.7.1.1. Kinetyka reakcji substytucji nukleofilowej ( $S_N$ ) .....	77
3.7.1.2. Mechanizm $S_N2$ .....	78
3.7.1.3. Reaktywność halogenków alkilowych .....	80
3.7.1.4. Inwersja konfiguracji .....	81
3.7.1.5. Wpływ rozpuszczalnika na reakcję $S_N2$ .....	82
3.7.1.6. Czynniki ułatwiające reakcje $S_N2$ .....	83
3.7.2. Reakcje $S_N1$ .....	83
3.7.2.1. Stereochemia reakcji $S_N1$ .....	85
3.7.2.2. Wpływ rozpuszczalnika na reakcję $S_N1$ .....	86
3.7.2.3. Wpływ grupy odchodzącej .....	87
3.7.2.4. Wpływ konstytucji substratu .....	87
3.7.2.5. Wpływ nukleofila .....	88
3.7.3. Porównanie reakcji biegnących mechanizmem $S_N1$ i $S_N2$ .....	88
4. REAKCJE ELIMINACJI .....	89
4.1. Reakcje eliminacji typu $E2$ .....	89
4.1.1. Reguła Zajcewa .....	89
4.1.2. Przykłady reakcji eliminacji (orientacja reakcji dehydrohalogenacji) .....	91

---

4.1.3. Reakcje eliminacji halogenowodorów ze związków chiralnych – stereochemia reakcji E2 .....	92
4.2. Reakcje eliminacji typu E1 .....	94
4.2.1. Mechanizm reakcji .....	94
4.3. Reakcja dehydratacji .....	96
4.4. Porównanie reakcji substytucji nukleofilowej i eliminacji .....	96
5. ALKENY .....	99
5.1. Występowanie .....	99
5.2. Stopień nienasycenia .....	100
5.3. Nomenklatura .....	101
5.3.1. Zasada najniższego zestawu lokautów .....	101
5.3.2. Izomeria <i>cis/trans</i> .....	102
5.4. Właściwości fizyczne, fizykochemiczne i fizjologiczne alkenów .....	103
5.4.1. Temperatura wrzenia i topnienia .....	103
5.4.2. Rozpuszczalność .....	103
5.4.3. Palność .....	103
5.4.4. Zapach .....	103
5.5. Elektronowa struktura wiązania C=C .....	104
5.6. Otrzymywanie alkenów .....	105
5.6.1. Piroлиза ropopochodnych .....	105
5.6.2. Laboratoryjna synteza alkenów .....	105
5.7. Właściwości chemiczne alkenów .....	105
5.7.1. Uwodornienie .....	106
5.7.2. Ciepło uwodornienia alkenów .....	108
5.7.3. Uwodornienia alkenów, a ich trwałość .....	108
5.7.4. Trwałość cykloalkenów .....	109
5.8. Addycja elektrofilowa .....	110
5.8.1. Orientacja w reakcjach addycji elektrofilowej .....	111
5.8.2. Reguła Miarkownikowa .....	111
5.8.3. Addycja niezgodna z regułą Miarkownikowa .....	113
5.8.4. Addycja fluorowców .....	114
5.8.5. Addycja wody – hydratacja .....	117
5.8.6. Reakcje hydroborowania .....	118
5.8.7. Otrzymywanie halohydrin – addycja halogenów do alkenów w wodnym środowisku .....	120
5.8.8. Oksyrtęciowanie .....	121
5.8.9. Halogenowanie w pozycji allilowej .....	122
5.8.10. Addycja karbenów do podwójnego wiązania C=C .....	123
5.8.11. Reakcja Simmons-Smitha .....	124
5.9. Utlenienie podwójnego wiązania C=C (tworzenie wiązania C-O) .....	124
5.9.1. Epoksydowanie .....	124
5.9.2. Hydroksylowanie podwójnego wiązania C=C .....	125
5.9.3. Ozonoliza .....	126
5.10. Polimeryzacja rodnikowa alkenów .....	127
6. ALKINY .....	130
6.1. Budowa elektronowa potrójnego wiązania .....	130
6.2. Występowanie .....	131
6.3. Nomenklatura .....	131
6.3.1. Zasady IUPAC .....	131
6.3.2. Nazewnictwo zwyczajowe .....	132
6.4. Otrzymywanie alkinów .....	132

6.5. Właściwości fizykochemiczne alkinów .....	133
6.6. Właściwości chemiczne alkinów .....	134
6.6.1. Addycja elektrofilowa .....	134
6.6.2. Addycja halogenowodorów .....	134
6.6.3. Addycja halogenów .....	135
6.6.4. Addycja wody .....	135
6.6.5. Hydroborowanie alkinów z następczym utlenianiem .....	136
6.6.6. Redukcja alkinów .....	137
6.6.7. Utleniające rozszczepienie wiązania $C\equiv C$ .....	139
6.6.8. Kwasowość alkinów terminalnych .....	139
7. ALKADIENY (polienu) .....	141
7.1. Wprowadzenie .....	141
7.2. Allen .....	141
7.2.1. Właściwości chemiczne .....	141
7.3. Dienu izolowane .....	142
7.4. Dienu sprzężone .....	143
7.4.1. Występowanie .....	143
7.4.2. Delokalizacja wiązań .....	143
7.4.3. Konformacja buta-1,3-dienu .....	145
7.5. Właściwości chemiczne dienów sprzężonych .....	145
7.5.1. Addycja bromowodoru i bromu .....	145
7.6. Reakcja Dielsa-Aldera .....	149
8. WĘGLOWODORY AROMATYCZNE – ARENY .....	152
8.1. Wprowadzenie .....	152
8.2. Występowanie .....	153
8.2.1. Źródła węglowodorów aromatycznych .....	154
8.2.2. Przemysłowa produkcja arenów .....	154
8.3. Właściwości chemiczne arenów .....	155
8.3.1. Uwodornienie arenów .....	155
8.4. Reguła Hückela .....	156
8.5. Struktura rezonansowa cząsteczki benzenu .....	157
8.6. Hemocykliczne związki aromatyczne o pierścieniu różnym od sześcioczołowego .....	157
8.7. Policykliczne węglowodory aromatyczne o skondensowanych pierścieniach .....	161
8.8. Struktura elektronowa benzenu .....	161
8.9. Struktura elektronowa naftalenu .....	162
8.10. Struktura elektronowa anionu cyklopentadienowego .....	162
8.11. Nazewnictwo pochodnych benzenu .....	163
8.12. Właściwości fizyczne .....	164
9. REAKTYWNOŚĆ ARENÓW .....	165
9.1. Substytucja elektrofilowa $S_E$ .....	165
9.1.1. Halogenowanie .....	166
9.1.2. Nitrowanie .....	166
9.1.3. Sulfonowanie .....	168
9.1.4. Reakcje Friedla-Craftsa .....	171
9.2. Efekt podstawnikowy w reakcjach $S_E$ .....	174
9.3. Substytucja elektrofilowa dipodstawionego benzenu – sumowanie efektów kierujących .....	178
9.4. Reakcje $S_E$ naftalenu .....	179
9.4.1. Sulfonowanie naftalenu .....	180
9.4.2. Reakcje substytucji elektrofilowej podstawionego naftalenu .....	181
9.4.3. Polisulfonowanie naftalenu .....	182

---

9.5. Reakcje substytucji nukleofilowej arenów – S <sub>N</sub> .....	183
9.5.1. Mechanizm reakcji S <sub>N</sub> – addycja/eliminacja .....	184
9.5.2. Mechanizm reakcji S <sub>N</sub> – eliminacja/addycja .....	185
9.6. Benzyn .....	185
9.7. Halogenowanie alkiloarenów w łańcuchu bocznym .....	186
9.8. Reakcje addycji do pierścienia aromatycznego – chlorowanie benzenu .....	187
9.9. Utlenianie alkiloarenów .....	188
9.10. Redukcja arenów .....	189
9.10.1. Uwodornienie selektywne .....	190
9.10.2. Redukcja metalami .....	190
10. ALKOHOLE .....	193
10.1. Wprowadzenie .....	193
10.2. Występowanie .....	194
10.3. Nomenklatura .....	194
10.3.1. Nazewnictwo systematyczne .....	194
10.3.2. Nazewnictwo podstawnikowe .....	195
10.3.3. Nazewnictwo grupowo-funkcyjne .....	195
10.3.4. Nazewnictwo zwyczajowe .....	195
10.3.5. Nazewnictwo metanolowe (karbinolowe) .....	195
10.3.6. Diole i poliole .....	196
10.4. Otrzymywanie i zastosowanie alkoholi .....	196
10.4.1. Produkcja masowa alkoholi .....	196
10.4.2. Laboratoryjne sposoby otrzymywania alkoholi .....	197
10.5. Właściwości fizyczne alkoholi .....	200
10.5.1. Rozpuszczalność .....	200
10.5.2. Temperatura wrzenia i topnienia – wiązania wodorowe .....	201
10.6. Właściwości chemiczne .....	202
10.6.1. Kwasowość, alkoholany .....	202
10.6.2. Utlenianie .....	204
10.6.3. Dehydratacja alkoholi .....	206
10.6.4. Przegrupowanie pinakolinowe .....	208
10.6.5. Podstawienie grupy hydroksylowej w alkoholach .....	209
11. ETERY .....	212
11.1. Wprowadzenie .....	212
11.2. Występowanie .....	212
11.3. Nomenklatura .....	213
11.3.1. Reguły IUPAC .....	213
11.3.2. Nazewnictwo podstawnikowe .....	213
11.3.3. Nazewnictwo zamienne .....	213
11.4. Właściwości fizyczne i fizjologiczne .....	214
11.4.1. Temperatura wrzenia .....	214
11.4.2. Zapach eterów .....	214
11.4.3. Rozpuszczalność .....	214
11.4.4. Zastosowanie .....	214
11.5. Otrzymywanie eterów .....	215
11.5.1. Metoda przemysłowa .....	215
11.5.2. Reakcja Williamsona .....	216
11.5.3. Alkoksyręćciowanie/odrtęćciowanie alkenów .....	217
11.6. Właściwości chemiczne .....	217
11.6.1. Acydolityczne rozszczepienie wiązania eterowego .....	217
11.6.2. Autooksydacja eterów .....	219

---

11.7. Etery cykliczne, epoksydy .....	219
11.7.1. Nomenklatura .....	219
11.7.2. Otrzymywanie .....	220
11.8. Właściwości chemiczne .....	221
11.8.1. Hydroliza .....	221
11.8.2. Reakcja z innymi odczynnikami nukleofilowymi .....	221
11.8.3. Regioselektywność otwierania pierścienia epoksydowego .....	222
11.8.4. Wyższe etery cykliczne .....	224
11.8.5. Etery koronowe – korony .....	225
11.8.6. Otrzymywanie eterów koronowych .....	226
12. TIOLE I SULFIDY .....	228
12.1. Występowanie .....	228
12.3. Nazewnictwo tioli .....	230
12.3.1. Nazewnictwo IUPAC .....	230
12.3.2. Nazewnictwo podstawnikowe .....	230
12.4. Nazewnictwo sulfidów .....	231
12.4.1. Nazewnictwo systematyczne .....	231
12.4.2. Nazewnictwo wymienne .....	231
12.5. Otrzymywanie tioli .....	231
12.6. Właściwości fizyczne i fizjologiczne tioli .....	232
12.7. Właściwości chemiczne tioli .....	232
12.7.1. Właściwości kwasowe .....	232
12.7.2. Właściwości nukleofilowe .....	233
12.7.3. Utlenianie tioli i sulfidów .....	234
13. FENOLE .....	236
13.1. Występowanie w przyrodzie .....	237
13.2. Źródła fenoli .....	238
13.2.1. Otrzymywanie fenolu .....	238
13.3. Właściwości fizykochemiczne i fizjologiczne .....	239
13.4. Właściwości kwasowo-zasadowe .....	240
13.5. Czynniki wpływające na kwasowość związków organicznych .....	241
13.6. Właściwości chemiczne fenoli .....	241
13.6.1. Reakcje na grupie hydroksylowej .....	241
13.6.2. Utlenianie .....	243
13.6.3. Reakcje substytucji elektrofilowej S <sub>E</sub> .....	246
13.6.4. Uwodornienie fenolu .....	250
13.7. Fenole o dużym znaczeniu praktycznym .....	250
BIBLIOGRAFIA .....	251
SKOROWIDZ .....	253



---

„Najpiękniejszą rzeczą, jakiej możemy doświadczać, jest oczarowanie tajemnicą.  
Jest to uczucie, które stoi u kolebki prawdziwej sztuki i prawdziwej nauki.  
Ten, kto go nie zna i nie potrafi się dziwić, nie potrafi doznawać zachwyty,  
jest martwy, niczym zdmuchnięta świeczka”.

*Albert Einstein*

## WSTĘP

Oddajemy do rąk studentów skrypt, który ma stanowić pomoc w opanowaniu podstaw chemii organicznej.

Skrypt zawiera zakres materiału wykładowego od wiązań chemicznych, alkanów i cykloalkanów poprzez halogenki alkilowe, reakcje substytucji nukleofilowej i eliminacji, alkeny, alkiny, dieny, związki aromatyczne, alkohole, etery, epoksydy, tiole, sulfidy, fenole, związki karbonylowe, kwasy karboksylowe i ich pochodne, organiczne pochodne kwasu węglowego, aminy, aż po węglowodany, aminokwasy, peptydy, związki heterocykliczne i fosforoorganiczne. Omówiono ich budowę, występowanie, właściwości chemiczne i fizyczne, działanie fizjologiczne oraz otrzymywanie. Zamieszczono także przykładowe pytania oraz zadania do samodzielnego rozwiązywania celem sprawdzenia przyswojonego materiału.

Wieloletnie doświadczenie autorów w prowadzeniu wykładów i ćwiczeń audytoryjnych z chemii organicznej na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej, pozwoliło zaprezentować podstawowe mechanizmy reakcji organicznych, stereoizomerię oraz planowanie syntezy organicznej w sposób przystępny, klarowny i łatwy do zrozumienia. Tekst skryptu został podzielony na rozdziały omawiające zagadnienia dotyczące poszczególnych grup funkcyjnych. A z uwagi na szeroki zakres materiału podzielono go na dwie części.

W *części I* skryptu zamieszczono wiadomości dotyczące struktury elektronowej i wiązań chemicznych występujących w związkach organicznych, omówiono izomerię, węglowodory nasycone (łańcuchowe, rozgałęzione i cykliczne), węglowodory nienasycone, węglowodory aromatyczne oraz związki z tlenowymi grupami funkcyjnymi (alkohole, etery, epoksydy, fenole), a także związki zawierające siarkę (tiole i sulfidy).

*Część II* skryptu obejmuje materiał poświęcony związkom zawierającym grupę karbonylową (aldehydy, ketony, kwasy karboksylowe i ich pochodne), opisano struktury z azotowymi grupami funkcyjnymi (aminy alifatyczne i aromatyczne, sole diazoniowe, nitrozwiązki, aminokwasy i peptydy), a także cukry, aromatyczne związki heterocykliczne oraz związki zawierające fosfor.

Skrypt został zaopatrzony w *Skorowidz rzeczowy*, aby ułatwić czytelnikowi nie tylko odnalezienie określonych związków czy reakcji chemicznych, ale także zapewnić komfort i przyjemność korzystania z podręcznika.

*Autorzy*