

SVET KEMIJE

Andrej Smrdu

K E M I J A

Snov in spremembe 3

UČBENIK

za kemijo v 3. letniku gimnazije

II. izdaja
po učnem načrtu
iz leta 2008

SVET KEMIJE

Andrej Smrdu

KEMIJA, Snov in spremembe 3

Učbenik za kemijo v 3. letniku gimnazije

II. IZDAJA

po učnem načrtu iz leta 2008

Recenzenti:

prof. dr. Marijan Kočever, mag. Mojca Orel, Leon Čelik

Jezikovni pregled:

Milan Koželj

Likovno-tehnična urednica:

Karmen S. Žnidaršič

Stavek in oprema:

ONZ Jutro

Izdalo in založilo:

Založništvo Jutro, © Jutro d.o.o., Ljubljana

Natisnjeno v Sloveniji v nakladi 6000 izvodov.

4. natis, 2016

Strokovni svet Republike Slovenije za splošno izobraževanje je na 130. seji dne 18. 3. 2010 s sklepom št. 6130-1/2010/18 potrdil knjigo »KEMIJA, SNOV IN SPREMEMBE 3, UČBENIK ZA KEMIJO V 3. LETNIKU GIMNAZIJE« kot učbenik za pouk kemije v 3. letniku gimnazijskega izobraževanja.

Strokovni svet Republike Slovenije za poklicno in strokovno izobraževanje je na 116. seji dne 3. 4. 2009 s sklepom št. 6130-3/2009/17 potrdil knjigo »KEMIJA, SNOV IN SPREMEMBE 3« kot učbenik za pouk modula Splošna in anorganska kemija v programu kemijski tehnik.

© Vse pravice pridržane.

Fotokopiranje in vse druge vrste reproduciranja po delih ali v celoti **ni dovoljeno** brez pisnega dovoljenja založbe.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

54(075.3)

SMRDU, Andrej

Kemija. Snov in spremembe 3 : učbenik za kemijo v 3. letniku gimnazije / Andrej Smrdu.
- 2. izdaja po učnem načrtu iz leta 2008, 4. natis. - Ljubljana : Jutro, 2016. - (Svet kemije / Jutro)

ISBN 978-961-6433-94-5
285548800

NAROČILA:

JUTRO d.o.o., Črnuška c. 3, p.p. 4986, 1001 Ljubljana

Tel. (01) 561-72-30, 031 521-195, 041 698-788

Faks (01) 561-72-35

E-pošta: Jutro@siol.net • www.jutro.si

PREDGOVOR

Učbenik »Kemija, Snov in spremembe 3« je namenjen dijakom tretjega letnika gimnazije. Obsega poglavja organske kemije in sledi prenovljenemu učnemu načrtu (2008). Druga izdaja prinaša poleg uskladitve naslovov poglavij z imeni sklopov prenovljenega učnega načrta tudi manjše vsebinske dopolnitve.

Učbenik je urejen v šest poglavij (Zgradba molekul organskih spojin, Zgradba in lastnosti ogljikovodikov, Zgradba in lastnosti halogeniranih ogljikovodikov, Zgradba in lastnosti organskih kisikovih spojin, Zgradba in lastnosti organskih dušikovih spojin, Zgradba in lastnosti polimerov), ki se naprej delijo v manjše enote. Na koncu vsakega poglavja so poleg povzetka (Zapomnim si) tudi vprašanja za utrjevanje znanja. Več nalog pa lahko dijaki najdejo v zbirki nalog »Kemijo razumem, kemijo znam 3«.

Pomembni pojmi in ugotovitve so krepko tiskani, bistvo obravnavane snovi pa je še posebej označeno in poudarjeno. Večina besedila je urejena v dveh stolpcih; v glavnem stolpcu je razloženo bistvo obravnavane snovi, v stranskem stolpcu pa se nahajajo zanimivosti, opombe in večina slikovnega gradiva. Veliko pozornosti je namenjeno vizualizaciji delcev (kroglični in kalotni modeli molekul). Precej je tudi preglednic, fotografij, grafov in drugega slikovnega gradiva. Zahtevnejši pojmi so posebej razloženi. Ob formulah spojin so vedno navedena tudi njihova imena. Posebna pozornost je namenjena povezovanju kemije z vsakdanjim življenjem.

Vsebine, ki predstavljajo posebna znanja v prenovljenem učnem načrtu (od šol. leta 2010/2011), so označene z zeleno črto ob levem robu besedila.

Vsebine, ki jih ni v prenovljenem učnem načrtu (od šol. leta 2010/2011), so označene z rdečo črto ob levem robu besedila.

Organska kemija je zelo obsežna in kompleksna veja kemije. V gimnaziji se organsko kemijo iz osmega in deveta razreda osnovne šole nadgradi z novimi oz. bolj poglobljenimi vsebinami. Izkušnje pa kažejo, da je pri mnogih dijakih veliko osnovnošolskega znanja organske kemije do začetka tretjega letnika gimnazije že pozabljenega, zato je smiselno začeti s poučevanjem osnov organske kemije. Precej prostora tega učbenika je zato namenjenega razlagi temeljnih pojmov, ki naj bi jih dijaki sicer že poznali, a njihova ponovitev omogoči lažji prehod od preprostih osnovnošolskih vsebin k zahtevnejšim pojmom gimnazijskega nivoja.

Pri poučevanju organske kemije se vedno znova postavlja vprašanje, v kakšnem zaporedju obravnavati predvideno snov. Tudi v tuji literaturi so pristopi različni. Izkušnje kažejo, da brez znanja imenovanja spojin ne moremo dobro razumeti izomerije, še večja težava pa se pojavi pri povezovanju lastnosti in reaktivnosti organskih spojin. Prav zato je v tem učbeniku uporabljen pristop obravnave po posameznih večjih skupinah organskih spojin (ogljikovodiki, halogenirani ogljikovodiki ...). Na ta način dijaki spoznajo zaokroženo celoto posamezne skupine organskih spojin.

Naj še omenim, da je v učbeniku uporabljeno novejše strokovno izrazoslovje (npr. »*cis-trans* izomerija« namesto »geometrijska izomerija« ter »center kiralnosti« namesto »kiralni center«), obenem pa so pomembne spojine imenovane tako s sistematičnimi kot tudi s trivialnimi in polsistematičnimi imeni.

Pri pisanju učbenika sem si prizadeval pisati v preprostem in razumljivem jeziku, primernem za samostojno učenje. Uporabil sem nekatere poenostavitve in posplošitve, ki omogočajo hitrejše razumevanje obravnavane snovi. Vsekakor pa je bil učbenik napisan z željo pritegniti dijake k organski kemiji, da bi jo želeli še bolj spoznati v četrtem letniku in dokazati njeno poznavanje na maturitetnem preizkusu. Po zaključenem gimnazijskem izobraževanju pa mogoče tudi poglobiti razumevanje obravnavanih vsebin v študiju kemije ali sorodnih naravoslovnih ved. Predgovor zaključujem v upanju, da »Kemija, Snov in spremembe 3« ni zadnji učbenik kemije, ki ga boste vzeli v roke v času svojega vseživljenjskega izobraževanja.

Andrej Smrdu

Literatura:

A Dictionary of Chemistry, tretja izdaja, Oxford University Press, 1996.

A Dictionary of Scientists, Oxford University Press, 1999.

Bruice, P. Y.: Organic Chemistry, 3. izd.; Prentice Hall, New Jersey, 2001.

IUPAC Compendium of Chemical Terminology, Electronic version.

Morrison, R. T.; Boyd, R. N.: Organic Chemistry, šesta izdaja, Prentice Hall International, 1992.

Solomons, T.W.G: Organic Chemistry, peta izdaja, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1992.

The Merck index, trinajsta izdaja, Merck & Co., Inc., Rahway, 2001.

Tišler, M.: Organska kemija, druga izdaja, Državna založba Slovenije, Ljubljana, 1988.

Vodnik po nomenklaturi organskih spojin IUPAC, priporočila 1993 (vključno s spremembami glede na nomenklaturu organske kemije IUPAC 1979), slovenska izdaja, SAZU, Ljubljana, 1999.

Vollhardt, K. P. C.; Schore, N. E.: Organic Chemistry, Structure and Function, tretja izdaja, W. H. Freeman and Company, New York, 1998.

www.sigmaaldrich.com

www.wikipedia.com

Zahvala

Večina fotografij v učbeniku je delo avtorja in studija ONZ Jutro.

Uporabili smo tudi fotografije iz naslednjih virov: NASA, Guliver Image, MIT Institute Archives and Special Collections, Wikipedia.

Slikovno in drugo gradivo so prispevali tudi naslednji posamezniki:
Vlado Pirc, Jerzy Rutkowski, Stane Štraus, Karmen S. Žnidaršič.

Pri fotografiranju kemijskih poskusov v Šolskem centru Ljubljana je sodelovala
Maja Auman.

VSEM SE ISKRENO ZAHVALJUJEMO.

VSEBINA

1. ZGRADBA MOLEKUL ORGANSKIH SPOJIN	7
1.1 Ogljikove spojine	8
1.2 Formule organskih spojin	12
1.3 Oblike molekul in hibridizacija	13
Zapomnim si	18
Vprašanja za utrjevanje znanja	18
2. ZGRADBA IN LASTNOSTI OGLJIKOVODIKOV.	19
2.1 Vrste ogljikovodikov	20
2.2 Alkani	21
2.3 Verižna izomerija	26
2.4 Gorenje ogljikovodikov	28
2.5 Radikalska substitucija	29
2.6 Alkeni in alkini	34
2.7 Položajna izomerija	38
2.8 <i>Cis-trans</i> (geometrijska) izomerija	39
2.9 Elektrofilna adicija	42
2.10 Aromatske spojine	47
2.11 Elektrofilna substitucija	53
Zapomnim si	59
Vprašanja za utrjevanje znanja	60
3. ZGRADBA IN LASTNOSTI HALOGENIRANIH OGLJIKOVODIKOV.	61
3.1 Formule halogeniranih ogljikovodikov	62
3.2 Lastnosti halogeniranih ogljikovodikov	64
3.3 Nastanek halogeniranih ogljikovodikov	68
3.4 Nukleofilna substitucija	69
3.5 Eliminacija vodikovega halogenida	72
Zapomnim si	74
Vprašanja za utrjevanje znanja	74
4. ZGRADBA IN LASTNOSTI ORGANSKIH KISIKOVH SPOJIN.	75
4.1 Pregled organskih kisikovih spojin	76
4.2 Funkcionalna izomerija	87
4.3 Fizikalne lastnosti organskih kisikovih spojin	89
4.4 Eliminacija vode	94
4.5 Nastanek etrov	95
4.6 Oksidacija in redukcija	97
4.7 Nukleofilna adicija	102
4.8 Nastanek estrov	106
4.9 Karboksilne kisline in njihovi derivati	108
4.10 Optična izomerija	115
4.11 Ogljikovi hidrati	118
4.12 Lipidi	128
Zapomnim si	133
Vprašanja za utrjevanje znanja	135
5. ZGRADBA IN LASTNOSTI ORGANSKIH DUŠKOVH SPOJIN	137
5.1 Amini	138
5.2 Aminokisline	142
Zapomnim si	149
Vprašanja za utrjevanje znanja	150
6. ZGRADBA IN LASTNOSTI POLIMEROV	151
6.1 Adicijski polimeri	152
6.2 Kondenzacijski polimeri	157
Zapomnim si	159
Vprašanja za utrjevanje znanja	159
7. DODATEK	160
Primeri imenovanja organskih spojin	160
Pregled izomerije	166
Pregled fizikalnih lastnosti organskih spojin	168
Dvajset najbolj pogostih naravnih aminokislin	171
Mehanizmi nekaterih organskih reakcij	172
8. KEMIJSKI SLOVAR.	174

Vrste organskih spojin

R = organska substituentna skupina

R' = vodik ali organska substituentna skupina

Vrsta spojine	Struktura	Končnica imena
Aldehyd	$\text{R}'-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	-al -karbaldehyd *
Alkohol	$\text{R}-\text{O}-\text{H}$	-ol
Amid	$\text{R}'-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\overset{\text{R}'}{\text{N}}-\text{R}'$	-amid -karboksamid *
Ester	$\text{R}'-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}$	(R)-il R'-oat (R)-il R'-karboksilat *
Eter	$\text{R}-\text{O}-\text{R}$	-il eter
Karboksilna kislina	$\text{R}'-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{H}$	-ojska kislina -karboksilna kislina *
Keton	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}$	-on
Kislinski anhidrid	$\text{R}'-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}'$	-ojski anhidrid -karboksilni anhidrid *
Kislinski klorid	$\text{R}'-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{Cl}$	-oil klorid -karbonil klorid *
Nitril	$\text{R}-\text{C}\equiv\text{N}$	-nitril -karbonitril *

* končnice imen spojin, ki imajo funkcionalno skupino vezano na ciklično strukturo

Imenovanje skupin s predponami

Formula	Ime
$-\text{CH}_3$	metil
$-\text{CH}_2\text{CH}_3$	etil
$-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	izopropil
$-\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$	benzil
$-\text{C}_6\text{H}_5$	fenil
$-\text{F}$	fluoro
$-\text{Cl}$	kloro
$-\text{Br}$	bromo
$-\text{I}$	jodo
$-\text{NO}_2$	nitro
$-\text{NH}_2$	amino
$-\text{OCH}_3$	metoksi
$-\text{OCH}_2\text{CH}_3$	etoksi
$-\text{OH}$	hidroksi
$>\text{C}=\text{O}$	okso
$-\text{CHO}$	formil
$-\text{COOH}$	karboksi
$-\text{CONH}_2$	karbamoil
$-\text{CN}$	ciano

Končnice osnovnih ogljikovodikov

alkani (enojna vez C-C)	-an
alkeni (dvojna vez C=C)	-en
alkini (trojna vez C≡C)	-in

Homologna vrsta alkanov

CH_4	metan
C_2H_6	etan
C_3H_8	propan
C_4H_{10}	butan
C_5H_{12}	pentan
C_6H_{14}	heksan
C_7H_{16}	heptan
C_8H_{18}	oktan
C_9H_{20}	nonan
$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	dekan

Primerjava struktur alkoholov, alkil halogenidov in aminov

	Primarni	Sekundarni	Terciarni
Alkohol	$\text{R}-\overset{\text{OH}}{\text{CH}_2}$	$\text{R}-\overset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{R}$	$\text{R}-\overset{\text{OH}}{\text{C}}-\text{R}$ R
Alkil halogenid (X = F, Cl, Br, I)	$\text{R}-\overset{\text{X}}{\text{CH}_2}$	$\text{R}-\overset{\text{X}}{\text{CH}}-\text{R}$	$\text{R}-\overset{\text{X}}{\text{C}}-\text{R}$ R
Amin	$\text{R}-\text{NH}_2$	$\text{R}-\text{NH}-\text{R}$	$\text{R}-\overset{\text{R}}{\text{N}}-\text{R}$

1.

ZGRADBA MOLEKUL ORGANSKIH SPOJIN

VSEBINA 1. POGLAVJA

- 1.1 - OGLJIKOVE SPOJINE
- 1.2 - FORMULE ORGANSKIH SPOJIN
- 1.3 - OBLIKE MOLEKUL IN HIBRIDIZACIJA
- ZAPOMNIM SI
- VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE ZNANJA

1.1 Ogljikove spojine

Zakaj so ogljikove spojine tako številne?

Milijoni različnih organskih spojin

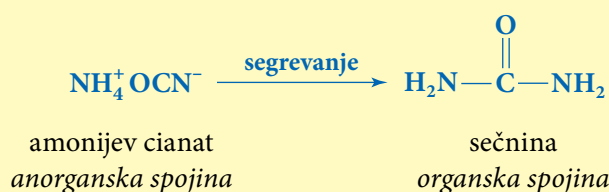
Ogljik tvori več spojin kot katerikoli drug element. Še več. Ogljikovih spojin je tako zelo veliko, da se z njihovim proučevanjem ukvarja posebna vrsta kemije – **organska kemija**. **Organska kemija je kemija ogljikovih spojin.**

Izraz »organska kemija« je leta 1806 prvi uporabil švedski kemik Jöns Berzelius (1779–1848). Še na začetku 19. stoletja so verjeli, da lahko organske spojine nastanejo le v živih bitjih, anorganske pa se nahajajo tudi v neživem svetu (npr. v mineralih). Mislili so, da je za nastanek organskih spojin potrebno delovanje t. i. »življenjske sile«. To zmotno prepričanje (imenujemo ga »vitalizem«), da organska snov vsebuje posebno življenjsko silo, ki pripada le živim bitjem, je leta 1828 ovrgel nemški kemik **Friedrich Wöhler** (1800–1882). Iz anorganskih spojin je pripravil organsko spojino **sečnino**, ki jo najdemo npr. tudi v seču (urinu).



Nemški kemik *Friedrich Wöhler* (1800–1882) je leta 1828 iz anorganskih snovi pripravil organsko snov sečnino.

Wöhlerjeva sinteza



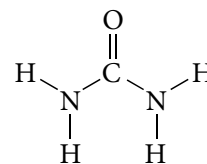
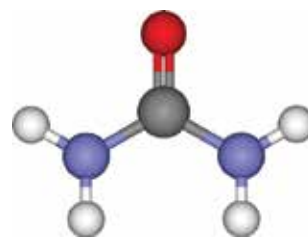
Sečnina, ki jo je Wöhler pripravil iz anorganskih snovi, je bila seveda enaka sečnini, kot so jo že prej odkrili v urinu. Pretvorbo amonijevega cianata v sečnino imenujemo **Wöhlerjeva sinteza**. S sintezo sečnine iz anorganskih snovi je Wöhler dokazal, da lahko organske spojine nastanejo tudi umetno – v laboratoriju. Delitev spojin na organske in anorganske pa se je ohranila. V današnjem času definiramo organske spojine kot spojine, ki vsebujejo ogljik. Iz tradicionalnih razlogov nekaterih spojin kljub vsebnosti ogljika ne uvrščamo med organske, temveč med anorganske spojine. To sta npr. oba ogljikova oksida CO in CO₂, ogljikova kislina H₂CO₃ in njene soli karbonati (npr. apnenec je kalcijev karbonat CaCO₃).

Organska kemija proučuje organske spojine. Vse organske spojine vsebujejo ogljik. V naravnih organskih spojinah pa se nahajajo tudi druge nekovine – predvsem **vodik, kisik in dušik**, v manjši meri pa tudi **fosfor, žveplo, halogeni** (elementi sedme skupine) idr.

Konec leta 2015 je bilo znanih več kot 104 milijonov spojin. V letu 2015 so odkrili več kot 13 milijonov novih spojin. Ogromna večina teh spojin vsebuje v molekuli vsaj en atom ogljika. Večina znanih spojin ni naravnih, temveč so jih naredili umetno – v laboratoriju.

Veliko število ogljikovih spojin omogoča tudi raznolikost lastnosti in s tem tudi uporabe. Praktično vsa zdravila vsebujejo organske spojine.

Prepričanje o nujnosti »življenjske sile« za nastanek organskih spojin je bilo globoko zasidrano med znanstveniki prve polovice 19. stoletja, zato Wöhlerjeva sinteza ni pomenila konca vitalizma. Šele po nekaj desetletjih je z naraščajočim številom umetno narejenih organskih snovi vitalizem odšel v zgodovino kot napačna ideja.



Kroglični model in formula sečnine. Sečnina H₂NCONH₂ je organska spojina, odkrili so jo že leta 1773. Najdemo jo tudi v urinu.

1.2 Formule organskih spojin

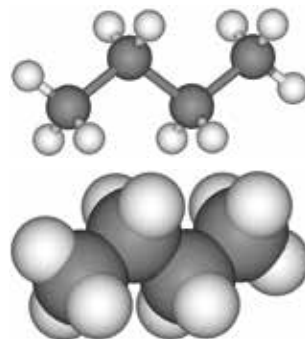
Kako prikažemo organske spojine?

Primerjava formul organskih spojin

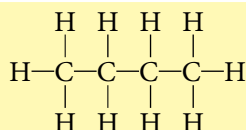
V prvem letniku smo za navajanje preprostih anorganskih in nekaterih organskih spojin uporabljali molekulske formule, njihove strukture pa smo prikazovali s strukturnimi formulami. Večina organskih spojin ima velike molekule, zato je njihovo zapisovanje s strukturnimi formulami zamudno. Molekulska formula pa je po drugi strani premalo informativna za prikazovanje bolj zapletenih organskih spojin.

Za predstavitev organskih spojin najpogosteje uporabljamo **racionalne formule**, ki so dovolj nazorne in jih lahko hitro napišemo. Še hitreje lahko napišemo skeletne formule, ki so še posebej primerne za prikaz velikih in cikličnih molekul.

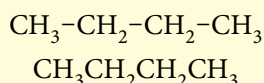
Butan je preprosta spojina, sestavljena iz ogljika in vodika (ogljikovodik). Nahaja se v utekočinjenem naftnem plinu. Oglejmo si različne formule butana in jih primerjajmo.



Kroglični in kalotni model butana. Molekula butana ima štiri ogljikove in deset vodikovih atomov.



Strukturna formula ponazori vse atome in vse vezi v molekuli, a je zato tudi zamudna za pisanje. Zaradi obširnejšega zapisa jo za predstavitev organskih spojin redkeje uporabljamo.



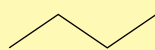
Racionalno formulo dobimo, če skupaj zapišemo ogljikove in nanje vezane vodikove atome. Racionalna formula je najbolj uporabljen način zapisa organskih spojin, ker je pregledna, dovolj informativna in omogoča hiter prikaz spojine. Racionalna formula je bolj pregledna, če napišemo vezi med ogljikovimi atomi. Seveda pa lahko zapis vezi tudi izpustimo.



Molekulska formula prikaže le število posameznih atomov v molekuli in je zato manj informativna. Ker iz te formule ni razviden način povezovanja atomov, jo uporabljamo redkeje, običajno skupaj z imenom spojine. V zapisu molekulske formule običajno navajamo najprej ogljikove in vodikove atome, nato pa še morebitne druge atome po abecednem redu njihovih simbolov (npr. dušik N pred kisikom O).



Empirično formulo dobimo, če število atomov posameznih elementov v molekuli formuli okrajšamo na najmanjša cela števila. V primeru butana smo število ogljikovih atomov (4) in število vodikovih atomov (10) delili z dva. Empirična formula predstavlja le celoštevilčno razmerje med atomi v molekuli in je tako še manj informativna kot molekulska formula.



Skeletna formula prikaže le skelet (verigo) ogljikovih atomov, vodikovih atomov pa ne zapisujemo. Vsako oglišče v verigi predstavlja en ogljikov atom. Kljub preprostosti je skeletna formula pregledna, informativna in omogoča hiter zapis spojine, zato jo pogosto uporabljamo, še posebej za prikaz velikih in cikličnih molekul.

Včasih prikažemo organsko spojino tudi s kombinacijo skeletne in racionalne formule. V nadaljevanju bomo organske spojine prikazovali pretežno z racionalnimi in s skeletnimi formulami.

Organske spojine lahko prikažemo z različnimi formulami in modeli. Najpogosteje uporabljamo racionalno in skeletno formulo, ker sta dovolj pregledni in informativni.

2.

ZGRADBA IN LASTNOSTI OGLJIKOVODIKOV

VSEBINA 2. POGLAVJA

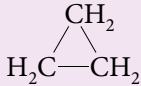
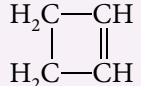
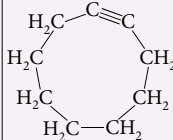
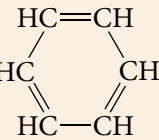
- 2.1 - VRSTE OGLJIKOVODIKOV
- 2.2 - ALKANI
- 2.3 - VERIŽNA IZOMERIJA
- 2.4 - GORENJE OGLJIKOVODIKOV
- 2.5 - RADIKALSKA SUBSTITUCIJA
- 2.6 - ALKENI IN ALKINI
- 2.7 - POLOŽAJNA IZOMERIJA
- 2.8 - *CIS-TRANS* (GEOMETRIJSKA) IZOMERIJA
- 2.9 - ELEKTROFILNA ADICIJA
- 2.10 - AROMATSKE SPOJINE
- 2.11 - ELEKTROFILNA SUBSTITUCIJA
- ZAPOMNIM SI
- VPRAŠANJA ZA UTRJEVANJE ZNANJA

2.1 Vrste ogljikovodikov

Katere ogljikovodike poznamo?

Spojine ogljika in vodika

Ogljikovodiki so spojine ogljika in vodika. V tej obsežni skupini organskih spojin najdemo spojine z enojno, dvojno ali trojno vezjo med ogljikovimi atomi. V spojinah je lahko ena ali več multiplih (dvojnih, trojnih) vezi. Veriga ogljikovih atomov je lahko tudi sklenjena v obroč. Ogljikovodike lahko razvrstimo na različne načine. Oglejmo si možno delitev ogljikovodikov in predstavnike posameznih vrst ogljikovodikov.

OGLJIKOVODIKI						
ALIFATSKI					AROMATSKI	
ACIKLIČNI			CIKLIČNI		CIKLIČNI	
NASIČENI		NENASIČENI	NASIČENI	NENASIČENI		NENASIČENI
Alkani	Alkeni	Alkini	Cikloalkani	Cikloalkeni	Cikloalkini	Areni
CH_3-CH_3	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$\text{CH}\equiv\text{CH}$				
etan	eten	etin	ciklopropan	ciklobuten	ciklononin	benzen

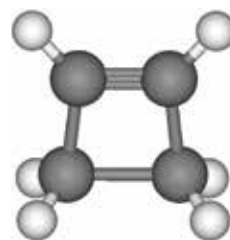
Ogljikovodike lahko delimo na **alifatske** in **aromatske**.

Aromatske ogljikovodike bomo podrobneje spoznali v poglavju 2.10 (str. 47). Zaenkrat omenimo le, da so vsi aromatski ogljikovodiki ciklične in nenasičene spojine. Benzen C_6H_6 je značilni predstavnik aromatskih ogljikovodikov (arenov).

Alifatske ogljikovodike lahko delimo glede na **strukturo skeleta** ogljikovih atomov na aciklične in ciklične. **Ciklični ogljikovodiki imajo ogljikove atome povezane v obroč**, v acikličnih ogljikovodikih pa so ogljikovi atomi razporejeni v odprte verige.

Ogljikovodike lahko delimo tudi glede na **vrsto vezi med ogljikovimi atomi (nasičenost)**. V nasičenih ogljikovodikih so med ogljikovimi atomi le enojne vezi. V nenasičenih ogljikovodikih pa je vsaj ena multipla (dvojna ali trojna) vez med ogljikovima atomoma.

Ogljikovodiki so spojine iz ogljika in vodika. Lahko jih delimo glede na strukturo skeleta ogljikovih atomov (aciklični in ciklični) ali glede na vrste vezi med ogljikovimi atomi (nasičeni in nenasičeni).



Kroglični model ciklobutena. Spojina je ciklični in nenasičeni ogljikovodik. Uvrščamo jo med cikloalkene.

2.10 Aromatske spojine

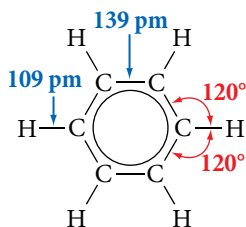
Katere spojine so aromatske?

Benzen – predstavnik aromatskih ogljikovodikov

Benzen je brezbarvna, vnetljiva, strupena in rakotvorna tekočina. Z vodo se ne meša, gori s sajastim plamenom. Tališče benzena je $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, vrelišče pa $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. V kemijski industriji je pomemben kot surovina za izdelavo drugih kemikalij.



Benzen je leta 1825 odkril britanski kemik *Michael Faraday* (1791–1867). Šele leta 1865 pa je nemški kemik *Friedrich August Kekule* (1829–1896) pravilno zapisal strukturo te spojine.

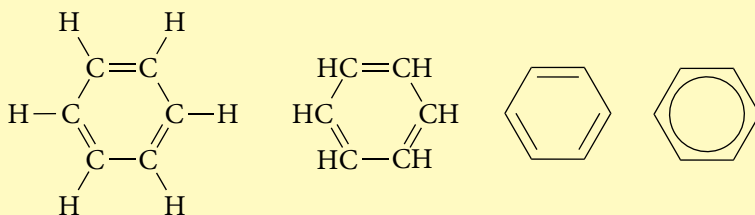


V molekuli benzena so vse vezi med ogljikovimi atomi enako dolge (139 pm) in enako močne. Tudi vse vezi med ogljikovimi in vodikovimi atomi (C–H) so enako dolge (109 pm) in enako močne. Vsi koti med vezmi so enako veliki (120°).

V poglavju 2.1 smo spoznali, da lahko ogljikovodike delimo na alifatske in aromatske. **Aromatske spojine** so kot posebno vrsto organskih spojin začeli opredeljevati v drugi polovici 19. stoletja. Nekatere tovrstne spojine, ki so jih našli v različnih rastlinskih oljih, imajo namreč prijeten vonj. Današnja opredelitev aromatskih spojin nima nobene povezave z vonjem, temveč z njihovo strukturo in lastnostmi, izraz pa se je obdržal.

Značilni predstavnik aromatskih ogljikovodikov je benzen. Benzen je spojina z **molekulsko formulo C_6H_6** . V obroč je vezanih šest ogljikovih atomov, na vsak ogljikov atom pa je vezan po en vodikov atom. Benzen lahko predstavimo z različnimi formulami. Zaradi enostavnosti zapisa pa najpogosteje uporabljamo skeletno formulo.

Formule benzena



Iz prikazanih formul bi utegnili napačno sklepati, da je benzen cikloalken (cikloheksa-1,3,5-trien), ker so v formuli prikazane tri dvojne vezi. Vendar temu ni tako. Benzen ni cikloalken, temveč ga uvrščamo v posebno skupino t.i. **aromatskih ogljikovodikov** ali **arenov**. Aromatičnost benzenovega obroča poudarimo s krogcem v skeletni formuli. Aromatski ogljikovodiki so **nenasičene** in **ciklične spojine**. V mnogih lastnostih se močno razlikujejo od drugih nenasičenih spojin (alkenov in alkinov), zato jih obravnavamo ločeno. **Benzen je še posebej stabilna spojina** in ima nekatere posebne fizikalne in kemijske lastnosti. Bistvena razlika med alkeni in benzenom je tudi v reaktivnosti. Za alkene so značilne reakcije adicije, **na benzen pa prvenstveno potekajo substitucije** (spoznali jih bomo v naslednjem poglavju).

Molekula benzena je planarna – vsi atomi so v isti ravnini. Vsi koti med vezmi so enako veliki (120°). Formulo benzena pogosto pišemo z izmeničnimi tremi dvojnimi in tremi enojnimi vezmi med ogljikovimi atomi (t.i. Kekulejeva formula). A v benzenu so vse vezi med ogljikovimi atomi **enako dolge in enako močne** – po dolžini in moči vmes med enojno in dvojno vezjo. Dolžina vezi med ogljikovimi atomi v benzenu je 139 pm (pm = 10^{-12} m), kar je manj od dolžine enojne vezi C–C (154 pm) in več od dolžine dvojne vezi C=C (133 pm). Vse vezi med ogljikovimi in vodikovimi atomi C–H so enako dolge (109 pm) in enako močne. Benzen torej nima treh dvojnih in treh enojnih vezi med ogljikovimi atomi, to je le poenostavljena oblika zapisa.

Za π -elektrone (elektroni v »dvojnih« vezeh) med ogljikovimi atomi v benzenu pravimo, da so **delokalizirani**. **Delokalizirani elektroni so elektroni, ki si jih delijo trije ali več atomi**. To pomeni, da ne pripadajo posameznemu atomu, niti niso omejeni na vez med dvema atomoma. S krogom znotraj šestkotnika v skeletni formuli benzena ponazorimo **delokalizacijo π -elektronov**.

Kako lahko na podlagi strukture spojine ugotovimo, ali je spojina aromatska? Poenostavljeno povedano mora izpolnjevati tri pogoje. Spojina je aromatska, če ima:

- planarno (ravninsko) ciklično (obročno) strukturo;
- popolnoma konjugirane dvojne vezi (po celem obroču);
- $(4n + 2)$ delokaliziranih π -elektronov (Hückelovo pravilo).

Če katerikoli od teh treh pogojev ni izpolnjen, potem spojine ne moremo uvrstiti med aromatske.

Oglejmo si strukturo benzena v luči izpolnjevanja navedenih pogojev.

1. Pogoj planarne (ravninske) ciklične (obročne) strukture.

V benzenu je šest ogljikovih atomov razporejenih v obročno strukturo, spojina je torej ciklična. Planarnosti obroča ogljikovih atomov zgolj iz formule ne moremo razbrati, a jo lahko dokažemo z modernimi eksperimentalnimi metodami.

2. Pogoj popolnoma konjugiranih dvojnih vezi (po celem obroču).

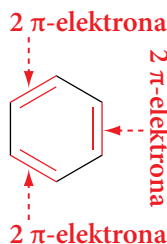
Konjugiranost dvojnih vezi pomeni, da se v strukturi izmenjujejo enojne in dvojne vezi, kar opazimo tudi v formuli benzena.

3. Pogoj $(4n + 2)$ delokaliziranih π -elektronov (Hückelovo pravilo).

$4n + 2$ je matematični izraz, v katerem simbol » n « predstavlja katerikoli nenegativno celo število (n je torej lahko 0, 1, 2, 3 ...). Z vstavljanjem teh vrednosti števila » n « v izraz $4n + 2$ dobimo torej dovoljeno število π -elektronov (npr. če je $n = 1$, je vrednost izraza $4n + 2 = 4 \cdot 1 + 2 = 6$). Aromatične so lahko le tiste spojine, ki imajo 2, 6, 10, 14 ... delokaliziranih π -elektronov.

Kako lahko iz formule spojine ugotovimo število π -elektronov? Poenostavljeno povedano sta v vsaki dvojni vezi dva π -elektrona.

Molekula benzena ima v svojih »treh dvojnih vezeh« (izraz smo pisali v navednicah, ker benzen dejansko nima ločenih dvojnih vezi) skupaj šest π -elektronov. Število delokaliziranih π -elektronov benzena se torej ujema z enim od dovoljenih izračunanih vrednosti matematičnega izraza $4n + 2$.



V primeru benzena so izpolnjeni vsi trije pogoji. Benzen je aromatska spojina.

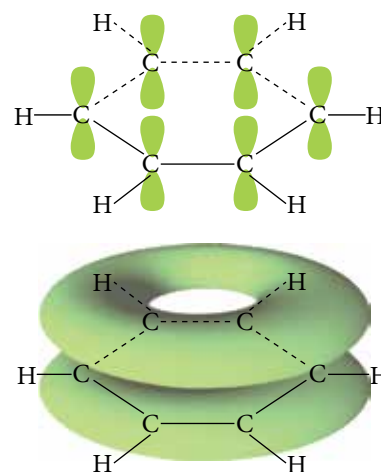
Vsi ogljikovi atomi v molekuli benzena so sp^2 -hibridizirani. Med seboj in z vodikovi atomi se povezujejo preko čelnega prekrivanja orbital (σ -vez). Kot med vezmi je zato 120° (podobno kot pri alkenih, primerjajte str. 13). Poleg tega pa se nehibridizirane p -orbitale šestih ogljikovih atomov med seboj bočno prekrivajo (π -vez). Pri tem nastane delokaliziran oblak π -elektronov nad in pod ravnino molekule (vsi atomi v molekuli benzena ležijo v eni ravnini, molekula je planarna).

n	0	1	2	3	4
$4n + 2$	2	6	10	14	18

Matematični izraz $(4n + 2)$ delokaliziranih π -elektronov imenujemo Hückelovo pravilo v čast nemškemu kemiku *Erichu Hückelu* (1896–1980). Hückel je leta 1931 objavil teoretične osnove, ki so omogočile razumevanje elektronske strukture organskih molekul. Prvič je bil ta matematični izraz eksplicitno uporabljen leta 1951.

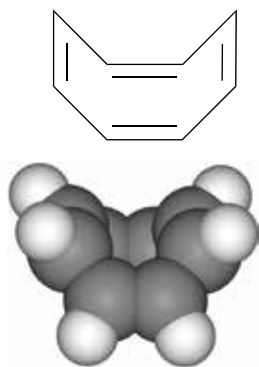


Kalotni model benzena.

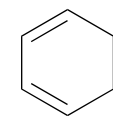


Ogljikovi atomi v benzenu so sp^2 -hibridizirani. Šest nehibridiziranih p -orbital (zgornja slika), ki so pravokotno na ravnino molekule, se bočno prekriva (π -vez). Pri tem nastane delokaliziran oblak π -elektronov nad in pod ravnino molekule (spodnja slika).

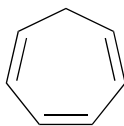
2.10 Aromatske spojine



Spojina ciklookta-1,3,5,7-tetraen je ciklična in ima popolnoma konjugirane dvojne vezi. A spojina ni aromatska, ker ni planarna in ne izpolnjuje pogoja $(4n+2)$ delokaliziranih π -elektronov.



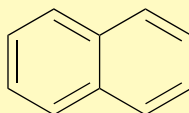
Cikloheksa-1,3-dien; spojina je ciklična, vendar nima popolnoma konjugiranih dvojnih vezi (po celem obroču). Poleg tega ima le štiri delokalizirane π -elektrone (v dveh dvojnih vezeh), s čimer ne izpolnjuje pogoja $(4n+2)$ delokaliziranih π -elektronov. Spojina ni aromatska.



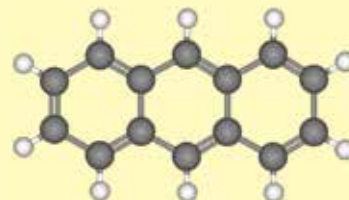
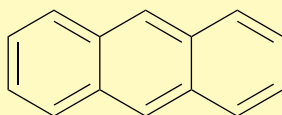
Ciklohepta-1,3,5-trien; spojina je ciklična in s šestimi π -elektroni (v treh dvojnih vezeh) izpolnjuje pogoj $(4n+2)$ delokaliziranih π -elektronov, vendar nima popolnoma konjugiranih dvojnih vezi (po celem obroču). Spojina ni aromatska.

Poznamo mnoge policiklične (večobročne) aromatske ogljikovodike, ki si jih poenostavljeno predstavljamo kot »združene« benzenove obroče. Oglejmo si njihove formule in modele ter ugotovimo število delokaliziranih π -elektronov.

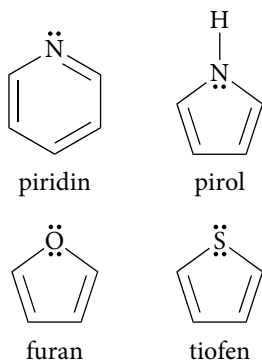
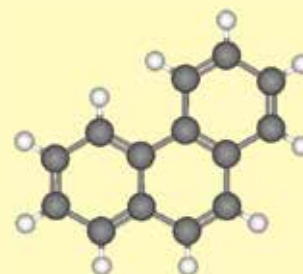
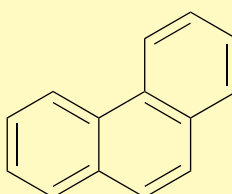
Naftalen (pet »dvojnih« vezi, 10 delokaliziranih π -elektronov)



Antracen (sedem »dvojnih« vezi, 14 delokaliziranih π -elektronov)



Fenantren (sedem »dvojnih« vezi, 14 delokaliziranih π -elektronov)



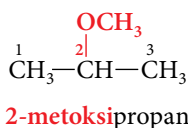
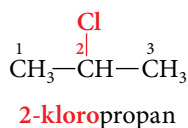
Poznamo tudi mnoge heterociklične (v obroč imajo poleg ogljikovih vezane tudi drugačne atome) aromatske spojine.

V nadaljevanju se bomo ukvarjali le z aromatskimi spojinami, ki imajo za osnovo benzenov obroč.

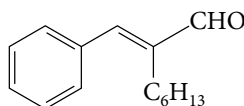
Benzen je aromatski ogljikovodik. V molekuli benzena so vsi atomi v isti ravnini, molekula je planarna. Vsi koti med vezmi so enako veliki (120°), vse vezi med ogljikovimi atomi so enako dolge in enako močne. Enako dolge in enako močne so tudi vse vezi med ogljikovimi in vodikovimi atomi.

4.1 Pregled organskih kisikovih spojin

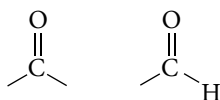
Imenovanje etrov s substitutivno nomenklaturu nam bo lažje, če etre primerjamo s halogenoalkani. Prikazani sta dve spojini; halogenoalkan 2-kloropropan in eter 2-metoksiopropan.



Pri primerjavi formul in imen spojin ugotovimo, da je imenovanje etrov podobno imenovanju halogenoalkanov. Pri etrih kot predpono uporabimo ime alkoksi skupine (npr. metoksi $-\text{OCH}_3$).



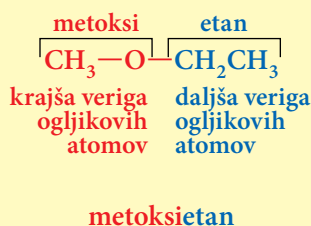
Aldehyd z nesistematičnim imenom heksil cinamal uporabljamo v mnogih parfumihih ($-\text{C}_6\text{H}_{13}$ je nerazvejana alkilna veriga). Najdemo ga tudi v nekaterih rastlinah (npr. v kamilicah).



Karbonilna skupina in funkcionalna skupina aldehydov $-\text{CHO}$. V karbonilni skupini je kisikov atom z dvojno vezjo vezan na ogljikov atom. Aldehydi imajo na ogljikov atom karbonilne skupine vezan še vodikov atom.

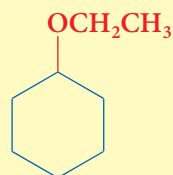
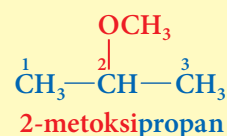
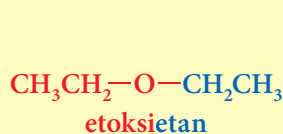
Vodno raztopino metanala imenujemo formalin. Uporabljamo jo za shranjevanje bioloških preparatov. Včasih se je metanal precej uporabljal za razkuževanje (skladišč, ladij), a ga zaradi rakotvornosti in strupenosti opuščajo.

Oglejmo si primer. Imenujmo etil metil eter s substitutivno nomenklaturu.

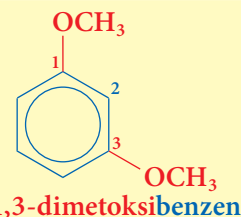


Prikazana spojina ima na kisikov atom vezani dve skupini: metilno $-\text{CH}_3$ in etilno $-\text{CH}_2\text{CH}_3$. Daljšo verigo ogljikovih atomov (v tem primeru CH_2CH_3), ki ima prednost, imenujemo kot osnovni ogljikovodik, torej »etan«. Krajšo verigo ogljikovih atomov (v tem primeru $-\text{CH}_3$) imenujemo skupaj z vezanim kisikovim atomom kot predpono (brez presledka), v našem primeru »metoksi«.

Oglejmo si še nekaj primerov.



etoksicikloheksan



1,3-dimetoksibenzen

Etri so organske kisikove spojine s splošno formulo $\text{R}^1 - \text{O} - \text{R}^2$, pri čemer sta substituentni skupini (R^1 , R^2) lahko enaki (simetrični etri) ali različni (nesimetrični etri). Imenujemo jih lahko z navedbo funkcionalnega razreda »eter« ali po substitutivni nomenklaturi z uporabo predpone »alkoksi«.

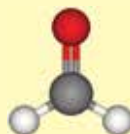
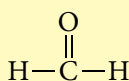
Aldehydi

Aldehydi so organske kisikove spojine s karbonilno funkcionalno skupino, na katero je vezan vsaj en vodikov atom. Splošna formula aldehydov je $\text{R}-\text{CHO}$.

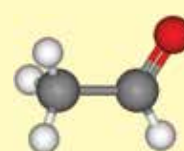
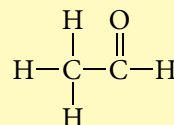
Preproste aciklične aldehyde imenujemo tako, da imenu osnovnega ogljikovodika dodamo **končnico** »-al«. Karbonilna funkcionalna skupina aldehydov je vedno na začetku verige ogljikovih atomov, zato v imenih preprostih aldehydov **ne navajamo pozicijskih števil**.

Najpreprostejši aldehyd je **metanal** ali **formaldehid**. Naslednji v homologi vrsti aldehydov je **etanal** ali **acetaldehyd**, sledi mu propanal. Oglejmo si strukturni formuli in krogična modela obeh spojin.

Metanal (formaldehid)

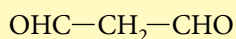


Etanal (acetaldehyd)

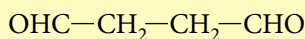


V nadaljevanju bomo aldehide navajali z racionalnimi formulami, v katerih zapisujemo funkcionalno skupino aldehydov v zaporedju ogljik-vodik-kisik, torej $-\text{CHO}$.

Omenili smo že, da v imenih preprostih aldehydov ne navajamo pozicijskih števil, ker je aldehydna skupina vedno na začetku verige ogljikovih atomov. Enako velja tudi za spojine, v katerih sta dve aldehydni skupini, torej ena na začetku in ena na koncu verige ogljikovih atomov. Oglejmo si primera.

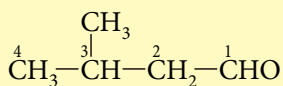


propandial

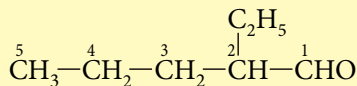


butandial

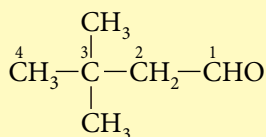
Oglejmo si še imenovanje acikličnih aldehydov z razvejano verigo ogljikovih atomov. Verigo ogljikovih atomov oštevilčimo tako, da ima ogljikov atom s karbonilno skupino pozicijsko število 1 (ne glede na položaj alkilnih skupin). S predponami pa navedemo alkilne skupine, ki so vezane na glavno verigo. Oglejmo si primere.



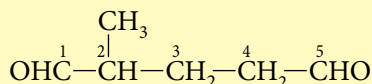
3-metilbutanal



2-etilpentanal

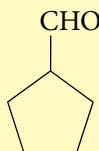


3,3-dimetilbutanal

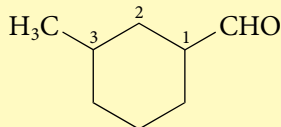


2-metilpentandial

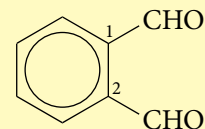
Oglejmo si še imenovanje cikličnih aldehydov. V primerih, ko je aldehydna skupina $-\text{CHO}$ vezana neposredno na obroč ogljikovih atomov, uporabljamo **končnico »-karbaldehid«**. Oglejmo si primere.



ciklopentankarbaldehid



3-metilcikloheksan-1-karbaldehid



benzen-1,2-dikarbaldehid

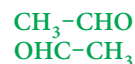
V navedenih primerih je aldehydna skupina $-\text{CHO}$ vezana na položaj št. 1. V primeru dveh ali več na obroč vezanih aldehydskih skupin pa navajamo položaj vseh skupin (drugi in tretji primer).

Najpreprostejši aromatski aldehyd je benzaldehid $\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$. Pri sobni temperaturi je brezbarvna tekočina značilnega prijetnega vonja. Benzaldehid in nekatere njegove derivate najdemo v različnih rastlinah.

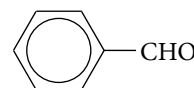
Aldehidi so organske kisikove spojine s karbonilno funkcionalno skupino, na katero je vezan vsaj en vodikov atom. Splošna formula aldehydov je $\text{R}-\text{CHO}$. Preproste aciklične aldehide imenujemo s končnico »-al«, ciklične aldehide pa s končnico »-karbaldehid«.

V racionalnih formulah zapisujemo funkcionalno skupino aldehydov v zaporedju ogljik-vodik-kisik, torej $-\text{CHO}$. Bodite pozorni na ustrezno orientacijo te skupine. Navedena sta dva primera pravilnega in primer napačnega zapisa formule etanala.

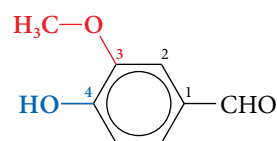
PRAVILNA ZAPISA:



NAPAČEN ZAPIS:



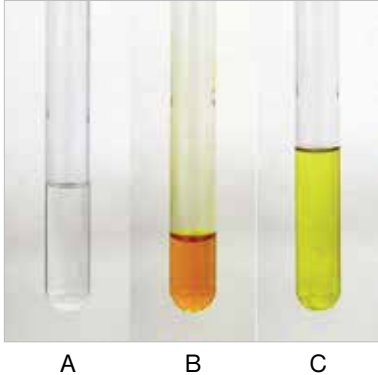
Formula in kalotni model benzaldehida. Spojino imenujemo tudi benzenkarbaldehid.



Vanilin ima sistematično ime **4-hidroksi-3-metoksibenzaldehid**. Zaradi velikih potreb po tej spojini (prehrambena in kozmetična industrija) je večina vanilina narejenega umetno. V naravi najdemo vanilin v nekaterih vrstah orhidej (predvsem *Vanilla planifolia*).

4.6 Oksidacija in redukcija

Kaj lahko dobimo iz alkoholov?



Etanolu (A) smo dodali kislino raztopino $K_2Cr_2O_7$ (B). Pri reakciji oranžna barva izgine, raztopina postane zelenkasta zaradi nastanka kromovih ionov Cr^{3+} (C). $K_2Cr_2O_7$ je oksidant, pri reakciji se krom iz oksidacijskega stanja +6 reducira v kromov(III) ion Cr^{3+} .

V reakcijskih shemah kislino raztopino pogosto predstavimo z zapisom vodikovega iona H^+ (namesto oksonijevega iona H_3O^+).

Oksidacija

Alkoholi so ena od najpomembnejših skupin organskih spojin, saj lahko iz njih pripravimo veliko število različnih produktov. V prejšnjih poglavjih smo spoznali eliminacijo vode – dehidriranje, ki vodi bodisi do alkenov (intramolekularno dehidriranje) bodisi do etrov (intermolekularno dehidriranje).

Med bolj pomembnimi reakcijami so **oksidacije alkoholov**, s katerimi dobimo druge organske kisikove spojine: aldehide, karboksilne kisline in ketone. V nadaljevanju pa bomo spoznali tudi nastanek estrov iz karboksilnih kislin in alkoholov. Oglejmo si shemo pretvorb alkoholov.

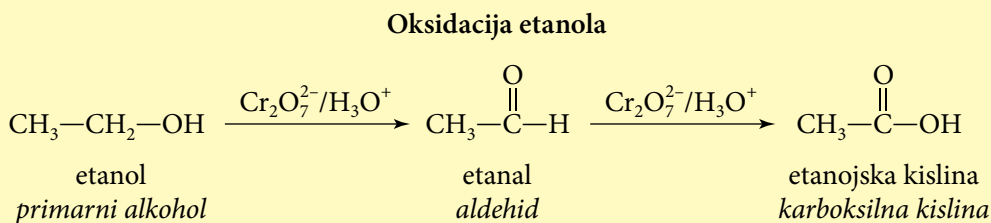


Produkt, ki nastane pri oksidaciji alkohola, je odvisen od njegove vrste. **Z oksidacijo primarnih alkoholov dobimo aldehide in iz njih karboksilne kisline. Z oksidacijo sekundarnih alkoholov dobimo ketone.**

Oksidacija terciarnih alkoholov poteka le pri ostrih reakcijskih pogojih, pri čemer pride do prekinitve vezi med ogljikovimi atomi in nastanka zmesi produktov, zato oksidacija terciarnih alkoholov iz sinteznega vidika ni uporabna.

Kot reagent za oksidacijo alkoholov lahko uporabimo kislino raztopino kalijevega dikromata(VI) $K_2Cr_2O_7 / H_3O^+$.

Oglejmo si reakcijsko shemo oksidacije primarnega alkohola etanola.



Reakcijsko shemo smo napisali v poenostavljeni obliki, z ionsko obliko zapisa oksidanta ($Cr_2O_7^{2-}$ namesto $K_2Cr_2O_7$) in brez stranskih produktov.

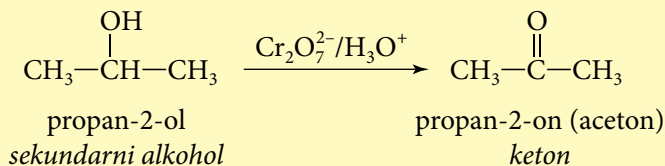
Pri uporabi kalijevega dikromata(VI) kot oksidanta je težko ustaviti oksidacijo na stopnji aldehida. S še tako natančnim odmerjanjem količine reagenta dobimo ob aldehidu tudi nekaj karboksilne kisline. Pri oksidaciji etanola nastane etanal, ki se naprej oksidira v etanojsko kislino.

Kalijev dikromat(VI) $K_2Cr_2O_7$ (v spojini ima krom oksidacijsko število +6) se pri reakciji reducira v kromove(III) ione Cr^{3+} . Raztopina kromovih(III) ionov je zelene barve. Reakcijo so pred uvedbo elektronskih merilnikov uporabljali policisti za dokazovanje alkohola v izdihanem zraku voznikov (alkotest).

Poznamo več dobrih oksidantov, ki lahko oksidirajo alkohole. Poleg kalijevega dikromata(VI) lahko uporabimo tudi raztopino kalijevega manganata(VII) $KMnO_4$. Pri tej reakciji se mangan iz oksidacijskega števila +7 reducira v nižja oksidacijska stanja.

Oglejmo si reakcijsko shemo oksidacije sekundarnega alkohola.

Oksidacija propan-2-ola



Tudi to reakcijsko shemo smo napisali v poenostavljeni obliki, z ionsko obliko zapisa oksidanta ($Cr_2O_7^{2-}$ namesto $K_2Cr_2O_7$) in brez stranskih produktov. Propan-2-ol je najbolj preprost sekundarni alkohol. Pri njegovi oksidaciji nastane propan-2-on, ki je najbolj preprost keton.

Nadaljnja oksidacija ketonov poteka le pri ostrih reakcijskih pogojih, pri čemer pride do prekinitve vezi med ogljikovimi atomi in nastanka zmesi produktov, zato oksidacija ketonov iz sinteznega vidika ni uporabna.

Iz navedenega je očitno, da se aldehidi in ketoni kljub podobni funkcionalni skupini (karbonilna skupina) bistveno razlikujejo v sposobnosti oksidacije. Aldehyde zlahka oksidiramo, ketonov pa ne.

Aldehyde in ketone pogosto razlikujemo z dvema reagentoma: **Fehlingovim reagentom** in **Tollensovim reagentom**. Oba reagentata sta relativno šibka oksidanta. Aldehyde lahko oksidirata v karboksilne kisline, s ketoni pa ne reagirata.

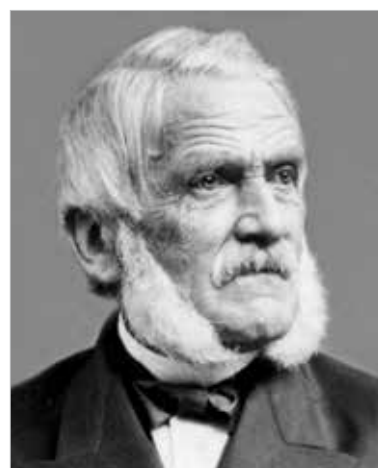
Fehlingov reagent je bazična raztopina bakrovega(II) iona. Če k modro obarvanemu Fehlingovemu reagentu dodamo aldehyd in zmes segrejemo, se izloči rdečerjava oborina bakrovega(I) oksida Cu_2O , modra barva pa izgine. Bakrov(II) ion se reducira, aldehyd pa se oksidira v karboksilno kislino.

Tollensov reagent vsebuje diaminsrebrove(I) ione $[Ag(NH_3)_2]^+$. Če k brezbarvnemu Tollensovemu reagentu dodamo aldehyd in zmes segrejemo, se na stenah epruvete izloči elementarno srebro. Srebrov(I) ion se reducira v elementarno srebro, aldehyd pa se oksidira v karboksilno kislino. Poleg alkoholov in aldehidov lahko oksidiramo tudi nekatere druge vrste organskih spojin.

Hladna bazična raztopina $KMnO_4$ lahko oksidira alkene do diolov. Poenostavljeno si lahko predstavljamo, da se na ogljikova atoma ob dvojni vezi vežeta dve $-OH$ skupini.

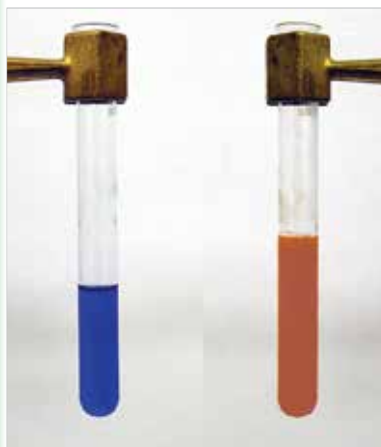


A B C
Etanolu (A) smo dodali kislno raztopino $KMnO_4$ (B). Pri reakciji vijolična barva izgine, pojavi se rjav manganov dioksid MnO_2 (C).



Nemški kemik *Hermann von Fehling* (1812–1885) je znan predvsem po odkritju reagenta (Fehlingov reagent), s katerim lahko ločimo med aldehidi in ketoni.

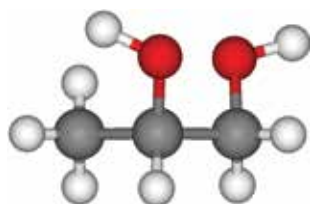
Tollensov reagent ima ime po nemškem kemiku *Bernhardtu Tollensu* (1841–1918). Pripravimo ga tako, da k raztopini srebrovega(I) nitrata(V) $AgNO_3$ dodamo majhno količino natrijevega hidroksida $NaOH$ in nato dodamo raztopino amonijaka NH_3 .



Pri reakciji Fehlingovega reagenta (leva epruveta) z aldehydom nastane rdečerjava oborina bakrovega(I) oksida Cu_2O (desna epruveta).



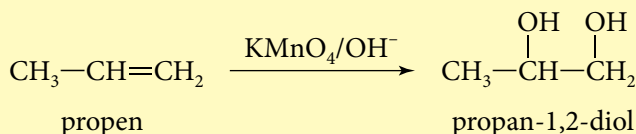
Pri reakciji Tollensovega reagenta z aldehydom se na stene epruvete izloči elementarno srebro (uporabljamo tudi izraz »srebrovo zrcalo«).



Kroglični model propan-1,2-diola (starejše ime propilen glikol). Visoko vrelišče spojine ($188\text{ }^\circ\text{C}$) je posledica tvorbe vodikovih vezi preko dveh hidroksilnih skupin.

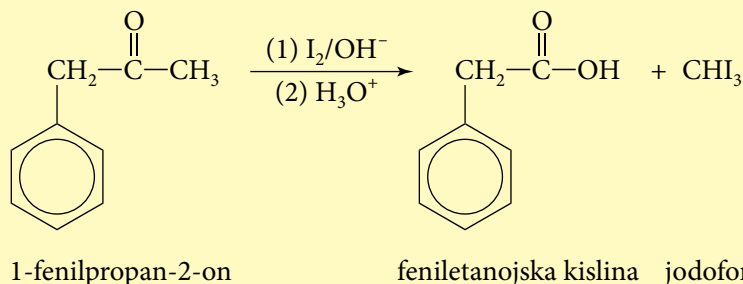
Oglejmo si primer.

Oksidacija propena v propan-1,2-diol



Oglejmo si še **jodoformsko reakcijo**. Reakcija je značilna za spojine z acetilno skupino $-\text{CO}-\text{CH}_3$ (metil ketoni), reagent pa je bazična raztopina joda. Pri reakciji se prekine vez med ogljikovima atomoma, ketonska karbonylna skupina se oksidira v karboksilno skupino, veriga ogljikovih atomov se zato zmanjša za en ogljikov atom. Po nakisanju reakcijske zmesi dobimo karboksilno kislino in rumeno oborino trijodometana CHI_3 (jodoform). Oglejmo si primer.

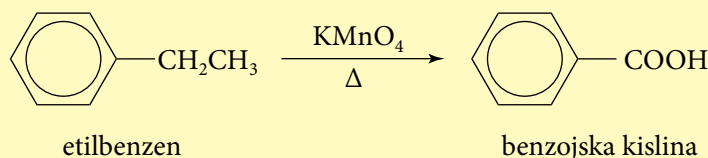
Jodoformska reakcija 1-fenilpropan-2-ona



Podobno kot jod reagira v bazični raztopini tudi klor in brom. V splošnem zato uporabljamo izraz »**haloformska reakcija**«. Pri uporabi klora nastane kloroform CHCl_3 , pri uporabi broma pa bromoform CHBr_3 .

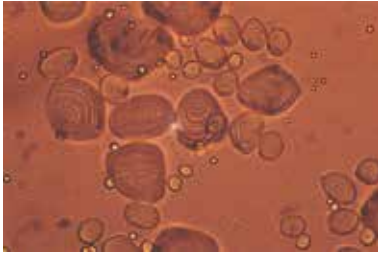
Oglejmo si še oksidacijo alkilbenzenov.

Oksidacija etilbenzena



Pri oksidaciji stranske etilne (alkilne) skupine, vezane na benzenov obroč, nastane karboksilna skupina. Podobno potekajo tudi oksidacije alkilbenzenov z drugačnimi stranskimi alkilnimi skupinami.

Pri oksidaciji primarnih alkoholov nastanejo aldehidi in nato karboksilne kisline, pri oksidaciji sekundarnih alkoholov pa ketoni. Oksidacija terciarnih alkoholov poteka le pri ostrih reakcijskih pogojih s prekinitvijo vezi med ogljikovimi atomi. Tollensov in Fehlingov reagent sta šibka oksidanta, ki reagirata z aldehydi, ne pa tudi s ketoni. S hladno bazično raztopino KMnO_4 oksidiramo alkene v diole, z bazično raztopino klora, broma ali joda pa oksidiramo metil ketone do karboksilne kisline in haloforma. Alkilbenzen lahko oksidiramo v benzojsko kislino.



Škrobna zrnca pod mikroskopom. V rastlinah se škrob nahaja v mikroskopsko majhnih škrobnih zrncah.

Večja razvejanost glikogena omogoča, da se lahko pri večjih naporih (večja potreba po energiji) hkrati odcepi več molekul D-glukoze.

Ljudje imamo encim (α -glukozidaza) za prekinitev α -1,4'-glikozidne vezi, zato lahko uživamo škrob. Nimamo pa encima (β -glukozidaza) za prekinitev β -1,4'-glikozidne vezi, zato ne moremo dobiti glukoze z razgradnjo celuloze. Celuloza zato ne moremo uporabiti kot vira energije. Kljub temu pa je celuloza pomembna kot balastna snov, ki nam omogoča dobro prebavo. Rastlinojede živali (npr. termiti, krave, konji) pa lahko uporabijo celulozo kot vir energije, ker so v njihovih prebavilih mikroorganizmi, ki jo razgradijo s svojimi encimi.

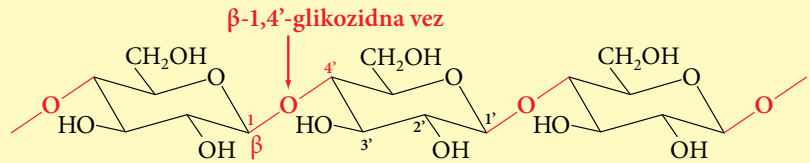


Polisaharid hitin najdemo v oklepih nekaterih živali.

Glikogen ima vlogo rezervne hrane v živalih in ljudeh. Nahaja se v jetrih in v mišicah. V primeru potrebe ga organizem lahko razgradi v glukozo. Po strukturi je podoben amilopektinu (α -1,4'-glikozidne vezi in α -1,6'-glikozidne vezi med enotami D-glukoze), a je še bolj razvejan. Pri glikogenu se veriga D-glukoz razveja na približno vsakih 10 monosaharidnih enot (pri amilopektinu na 25 enot).

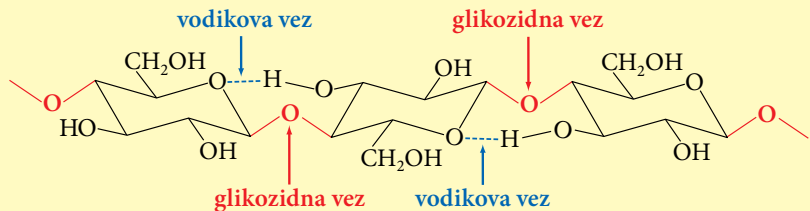
Celuloza je glavna sestavina lesa in rastlinskih vlaken in tako najbolj razširjena organska snov na Zemlji. Ima nerazvejane verige enot D-glukoze, ki so povezane z β -1,4'-glikozidno vezjo.

Celuloza (del molekule)



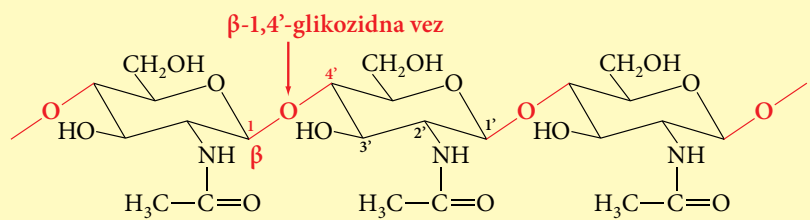
Prikazana struktura celuloze nam nazorno pokaže glikozidne vezi, vendar ne pokaže dobro dejanske oblike verige. Enote D-glukoze se v verigi celuloze orientirajo tako, da se med njimi tvorijo **intramolekulske vodikove vezi**. Posamezne molekule (verige) celuloze pa se lahko povežejo še z **intermolekulskimi vodikovimi vezmi**. Ti skupki verig povzročajo netopnost celuloze v vodi ter ji omogočajo čvrstost in s tem uporabo v rastlinah kot strukturni (oporni) material.

Celuloza (del molekule, alternativni prikaz)



Hitin je polisaharid, ki je po strukturi podoben celulozi. Podobno kot v celulozi so tudi v hitinu enote povezane z β -1,4'-glikozidno vezjo. Enote D-glukoze pa so nekoliko spremenjene – na drugi ogljikov atom je namesto hidroksilne skupine $-OH$ vezana *N*-etanoilamino skupina $-NHCOCH_3$. Hitin najdemo v oklepih nekaterih živali (npr. raki).

Hitin (del molekule)



Celuloza, škrob in glikogen so polisaharidi, sestavljeni iz velikega števila enot D-glukoze. Enote D-glukoze so vezane na različne načine, zato imajo tudi polisaharidi različne lastnosti. Glikogen se nahaja v živalih in človeku, škrob in celuloza pa v rastlinah. Hitin najdemo v oklepih nekaterih živali.

4.12 Lipidi

Katere spojine uvrščamo med lipide?

Triacilgliceroli (trigliceridi)

Lipidi so velika skupina nepolarnih spojin, ki jih dobimo z ekstrakcijo z nepolarnimi topili iz živih organizmov (rastlin in živali). Ker so nepolarni, so v vodi netopni, dobro pa se raztapljajo v nepolarnih topilih (npr. v tekočih alkanih). Lipide razdelimo na dve veliki skupini:

- **umiljivi lipidi;**
lipidi z estrsko skupino (npr. triacilgliceroli, voski);
- **neumiljivi lipidi;**
lipidi brez estrske skupine (npr. steroidi).

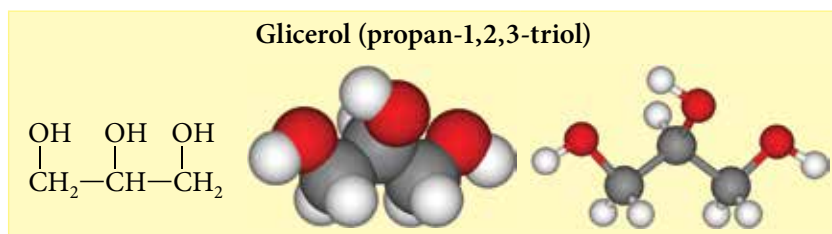
Oglejmo si najprej **triacilglicerole**. Triacilglicerole pogosto imenujemo **trigliceridi**, v vsakdanjem pogovornem jeziku pa jim rečemo kar **maščobe**. So najbolj razširjeni naravni lipidi.

Trigliceridi so nepolarne spojine, zato se **ne mešajo z vodo**, ki je polarna spojina. Voda ima gostoto 1 g/mL, **gostota trigliceridov pa je manjša**, zato plavajo na vodi.

Delimo jih glede na **agregatno stanje**. Trigliceride, ki so pri sobnih pogojih trdni, imenujemo **masti**. Trigliceride, ki so pri sobnih pogojih tekoči, imenujemo **olja**.

Delimo jih lahko tudi glede na izvor. Večina **rastlinskih maščob** je tekočih, npr. sončnično olje, oljčno olje, sojino olje, koruzno olje itn. Trdna rastlinska maščoba je npr. kokosovo maslo. **Živalske maščobe** so lahko trdne (npr. svinjska mast) ali tekoče (npr. ribje olje).

Trigliceridi so estri glicerola in maščobnih kislin, njihove molekule so dokaj velike. **Glicerol** ali propan-1,2,3-triol je alkohol s tremi hidroksilnimi skupinami –OH.



Maščobne kisline so karboksilne kisline, ki so zaestrene v trigliceridih. Pretežno gre za kisline z več kot 8 ogljikovimi atomi, zato včasih uporabljamo tudi izraz **višje maščobne kisline**. V naravi se običajno nahajajo kisline z **nerazvejano verigo in s sodim številom ogljikovih atomov**. Lahko so **nasičene** (med ogljikovimi atomi so le enojne vezi) ali **nenasičene** (med ogljikovimi atomi so tudi dvojne vezi). Nenasičene naravne maščobne kisline imajo pretežno *cis*-konfiguracijo.

Raziskave so pokazale, da prevelik delež nasičenih maščobnih kislin v prehrani lahko vodi v razvoj bolezni srca in ožilja.



V epruveto smo nalili vodo in olje. Olje ima manjšo gostoto kot voda, zato plava na njej.



Glicerol je viskozna brezbarvna tekočina.



Mnogi kozmetični izdelki vsebujejo glicerol.



Iz semen sončnic pridobivamo sončnično olje.

Zapomnim si

- Funkcionalna skupina je atom ali skupina atomov, ki je značilna za določeno vrsto organskih spojin in določa njene kemijske lastnosti.
- V molekulah alkoholov je hidroksilna skupina $-OH$. Alkohole imenujemo z uporabo končnice $-ol$. Glede na vrsto ogljikovega atoma, na katerega je vezana hidroksilna skupina, delimo alkohole na primarne, sekundarne in terciarne. Primarni alkoholi imajo hidroksilno skupino vezano na primarni, sekundarni alkoholi na sekundarni in terciarni alkoholi na terciarni ogljikov atom. V fenolih je hidroksilna skupina $-OH$ vezana na aromatski obroč.
- Etri so organske kisikove spojine s splošno formulo R^1-O-R^2 , pri čemer sta substituentni skupini (R^1 , R^2) lahko enaki (simetrični etri) ali različni (nesimetrični etri). Imenujemo jih lahko z navedbo funkcionalnega razreda »eter« ali po substitutivni nomenklaturi z uporabo predpone alkoksi.
- Aldehidi so organske kisikove spojine s karbonilno funkcionalno skupino, na katero je vezan vsaj en vodikov atom. Splošna formula aldehydov je $R-CHO$. Preproste aciklične aldehide imenujemo s končnico »-al«, ciklične aldehide pa s končnico »-karbaldehid«.
- Ketoni so organske kisikove spojine s karbonilno funkcionalno skupino, na katero ni vezanega vodikovega atoma. Splošna formula ketonov je R^1-CO-R^2 . Ketone imenujemo s končnico »-on« ali z navedbo funkcionalnega razreda »keton«.
- Karboksilne kisline so organske kisikove spojine s karboksilno funkcionalno skupino. Splošna formula karboksilnih kislin je $R-COOH$. Preproste aciklične karboksilne kisline imenujemo s končnico »-ojska kislina«, ciklične karboksilne kisline pa s končnico »-karboksilna kislina«.
- Estri so organske kisikove spojine. Za estre je značilna estrska funkcionalna skupina oz. estrska vez $-COO-$. Ime estra je sestavljeno iz dveh besed s končnicama »-il« in »-oat«.
- Amidi so organske spojine s funkcionalno skupino $-CONH_2$. Preproste aciklične amide imenujemo tako, da imenu osnovnega ogljikovodika dodamo končnico »-amid«.
- Funkcionalna izomerija je podvrsta strukturne izomerije. Funkcionalni izomeri se razlikujejo v vrsti funkcionalne skupine.
- Višja vrelišča imajo alkoholi z daljšimi in manj razvejanimi verigami ogljikovih atomov ter večjim številom hidroksilnih skupin. Alkoholi imajo manjšo gostoto kot voda. Z daljšanjem verige ogljikovih atomov se gostote alkoholov večajo. V vodi so bolj topni alkoholi s krajšimi in bolj razvejanimi verigami ogljikovih atomov ter večjim številom hidroksilnih skupin.
- Med organskimi kisikovimi spojinami primerljivih molskih mas imajo karboksilne kisline najvišja vrelišča, sledijo jim alkoholi, nato ketoni in aldehidi, nato estri in nato etri. Med organskimi kisikovimi spojinami primerljivih molskih mas so najbolj topne v vodi karboksilne kisline. Na vrelišče in topnost v vodi poleg dolžine in oblike (razvejanost) nepolarne alkilne skupine vpliva tudi število in narava funkcionalnih skupin in s tem povezana možnost tvorbe vodikovih vezi (in drugih privlačnih sil) s sosednjimi molekulami.
- Pri eliminaciji vode (dehidriranju) iz molekule alkohola odstranimo molekulo vode. Pri tem nastane alken. Reakcija poteka ob prisotnosti žveplove(VI) kisline H_2SO_4 in segrevanju.
- Simetrične etre dobimo z dehidriranjem alkoholov. Za reakcijo potrebujemo koncentrirano žveplove(VI) kislino H_2SO_4 in povišano temperaturo.
- Eter lahko dobimo z reakcijo med alkoksidnim ionom in halogenoalkanom (Williamsonova sinteza). Alkoksidni ion dobimo z reakcijo med alkoholom in natrijem.
- Pri oksidaciji primarnih alkoholov nastanejo aldehidi in nato karboksilne kisline, pri oksidaciji sekundarnih alkoholov pa ketoni. Oksidacija terciarnih alkoholov poteka le pri ostrih reakcijskih pogojih s prekinitvijo vezi med ogljikovimi atomi. Tollensov in Fehlingov reagent sta šibka oksidanta, ki reagirata z aldehidi, ne pa tudi s ketoni. S hladno bazično raztopino $KMnO_4$ oksidiramo alkene v diole, z bazično raztopino klora, broma ali joda pa oksidiramo metil ketone do karboksilne kisline in haloforma. Alkilbenzen lahko oksidiramo v benzojsko kislino.

- Pri redukciji aldehydov dobimo primarne alkohole, pri redukciji ketonov pa sekundarne alkohole. Kot reducente pogosto uporabljamo vodik z ustreznim katalizatorjem (npr. H_2 / Ni), natrijev tetrahidridoborat $NaBH_4$ in litijev tetrahidridoaluminat $LiAlH_4$. Z $LiAlH_4$ lahko reduciramo tudi karboksilne kisline, estre in amide.
- Na aldehide in ketone potekajo nukleofilne adicije. Pomembnejše nukleofilne adicije so adicija vodikovega cianida, adicija natrijevega hidrogensulfata(IV) $NaHSO_3$ ter adicijsko-eliminacijske reakcije s primarnimi amini in hidrazini.
- Estri nastanejo v ravnotežnih reakcijah med kislinami in alkoholi. Kot katalizator uporabljamo žveplovo(VI) kislino H_2SO_4 , ki je higroskopna – veže vodo. Namesto karboksilne kisline lahko uporabimo bolj reaktivne derivate kislin – kislinske kloride in anhidride.
- Z naraščanjem dolžine verige ogljikovih atomov se vrelišča karboksilnih kislin višajo, njihove topnosti v vodi pa manjšajo. Karboksilna kislina je tem močnejša, čim več ima vezanih halogenov, čim bližje je halogen karboksilni skupini in čim bolj je halogen elektronegativen.
- Karboksilne kisline lahko nevtraliziramo z alkalijskimi hidroksoidi in z natrijevim hidrogenkarbonatom. Lahko jih pretvorimo v estre, amide, kislinske kloride, kislinske anhidride (derivati karboksilnih kislin). Pri hidrolizi (reakciji z vodo) derivatov karboksilnih kislin nastanejo karboksilne kisline. Med derivati karboksilnih kislin so najbolj reaktivni kislinski kloridi. Amidi so manj reaktivni kot karboksilne kisline.
- Optična izomerija je podvrsta stereoizomerije. Optični izomeri se razlikujejo v razporeditvi atomov ali skupin okoli centrov kiralnosti. Center kiralnosti je ogljikov atom, na katerega so vezane štiri različne skupine. Enantiomera sta optična izomera, ki sta drug drugemu zrcalni sliki. Optične izomere predstavljamo s stereokemijsko formulo in s Fischerjevo projekcijsko formulo. Spojine z »n« centri kiralnosti imajo največ 2^n optičnih izomerov. Preproste kiralne spojine označujemo s stereodeskriptorjema L- in D-.
- Ogljikovi hidrati so organske kisikove spojine. Delimo jih na monosaharide, oligosaharide in polisaharide. Nastajajo pri fotosintezi v rastlinah.
- Monosaharidi so preprosti ogljikovi hidrati. Delimo jih glede na funkcionalno skupino (aldoze in ketoze) oz. glede na število ogljikovih atomov (heksoze, pentoze ...). Glukoza je aldoza, fruktoza je ketoza; obe sta heksozi. Pretežno se nahajajo v ciklični obliki (šestčlenski obroči piranoze in petčlenski obroči furanoze).
- Molekule monosaharidov se lahko nahajajo v aciklični ali ciklični obliki. Ciklični obliki sta piranoza (šestčlenski obroč) in furanoza (petčlenski obroč). Aciklično obliko predstavimo s Fischerjevo projekcijsko formulo, ciklični obliki pa s Haworthovo projekcijsko formulo. V molekulah monosaharidov so centri kiralnosti. Monosaharid se lahko nahaja v L- in D-konfiguraciji, ki sta enantiomera (zrcalni sliki). Oznaki α - in β - označujeta konfiguracijo hidroksilne skupine na anomernem ogljikovem atomu v ciklični obliki monosaharida.
- Hidroksilne skupine v monosaharidih lahko zaetrimo ali zaestrimo. O-glikozid je spojina, v kateri je na anomerni (prvi) ogljikov atom molekule monosaharida vezana skupina $-OR$. Monosaharide lahko reduciramo in oksidiramo. S Tollensovim in Fehlingovim reagentom dajejo pozitivne reakcije tudi ketoze (npr. fruktoza).
- Disaharidi so spojine, v katerih sta dve monosaharidni enoti povezani preko glikozidne vezi (kisikov atom). Med disaharide uvrščamo saharozo, laktozo in maltozo.
- Celuloza, škrob in glikogen so polisaharidi, sestavljeni iz velikega števila enot D-glukoze. Enote D-glukoze so vezane na različne načine, zato imajo tudi polisaharidi različne lastnosti. Glikogen se nahaja v živalih in človeku, škrob in celuloza pa v rastlinah. Hitin najdemo v oklepih nekaterih živali.
- Trigliceridi so estri glicerola in maščobnih kislin. V naravi se običajno nahajajo maščobne kisline z nerazvejano verigo in s sodim številom ogljikovih atomov. Lahko so nasičene ali nenasičene. Trigliceridi z večjo vsebnostjo nenasičenih maščobnih kislin so tekoči. Trigliceridi z zelo malo nenasičenimi maščobnimi kislinami so trdni. Maščobe so občutljive na zračni kisik in toploto.
- Voski so estri višjih maščobnih kislin in višjih alkoholov. Najdemo jih v rastlinskem in v živalskem svetu.
- Med neumljive lipide uvrščamo steroide. Steroidi imajo značilen tetraciklični skelet (trije šestčlenski in en petčlenski obroč). Med steroide uvrščamo holesterol in nekatere hormone.
- Mila so natrijeve ali kalijeve soli višjih maščobnih kislin. Dobimo jim pri bazični hidrolizi (umiljenju) maščob.

Vprašanja za utrjevanje znanja

4.1 Pregled organskih kisikovih spojin

- Pojasnite izraz »funkcionalna skupina«.
- Napišite formule funkcionalnih skupin alkoholov, etrov, aldehydov, ketonov, karboksilnih kislin, estrov in amidov.
- Napišite formuli in imeni dveh najpreprostejših alkoholov.
- Napišite formulo in ime enega primarnega, sekundarnega in terciarnega alkohola z molekulsko formulo $C_5H_{12}O$ ter pojasnite to delitev.
- Pojasnite razliko med fenoli in alkoholi.
- Pojasnite razliko med simetričnimi in nesimetričnimi etri.
- Imenujte eter s formulo $CH_3OCH_2CH_2CH_3$ na dva načina.
- Napišite racionalne formule naslednjih aldehydov: propanal, butanal, pentandial, cikloheksankarbaldehyd, benzaldehyd.
- Pojasnite razliko med aldehydi in ketoni.
- Napišite formulo najpreprostejšega ketona in ga imenujte na dva načina.
- Zakaj v imenih preprostih acikličnih karboksilnih kislin in aldehydov ne navajamo položaja karboksilne oz. karbonilne skupine?
- Napišite racionalne formule naslednjih estrov: etil metanoat, propil etanoat, metil benzoat.
- Napišite formuli in imeni dveh najpreprostejših amidov.

4.2 Funkcionalna izomerija

- Zakaj uvrščamo funkcionalno izomerijo med strukturno izomerijo in ne med stereoiomerijo?
- V čem se razlikujejo funkcionalni izomeri?
- Napišite racionalni formuli in imenujte po en alkohol in en eter z molekulsko formulo C_3H_8O .
- Napišite racionalni formuli in imenujte po en keton in en aldehyd z molekulsko formulo $C_5H_{10}O$.
- Napišite racionalni formuli in imenujte po eno karboksilno kislino in en ester z molekulsko formulo $C_3H_6O_2$.
- Zakaj propan-2-ol in propan-2-on nista funkcionalna izomera, čeprav imata oba po tri ogljikove atome in en kisikov atom?

4.3 Fizikalne lastnosti organskih kisikovih spojin

- Kako dolžina verige ogljikovih atomov vpliva na vrelišča primerljivih alkoholov?
- Kako razvejanost verige ogljikovih atomov vpliva na vrelišča izomernih alkoholov?
- Napišite racionalne formule in imena osmih izomernih alkoholov s formulo $C_5H_{11}OH$. Kateri izomer ima najvišje vrelišče?
- Kateri alkoholi se dobro mešajo z vodo? Pojasnite razliko v topnosti etanola in heksan-1-ola v vodi.
- Pojasnite razlike v topnosti in vreliščih butan-1-ola in butan-1,4-diola.
- Razporedite navedene spojine po naraščajočih vreliščih (od spojine z najnižjim do spojine z najvišjim vreliščem). Spojine imajo enake oz. podobne molske mase. Napišite tudi formule teh spojin. Katera spojina je najbolj topna v vodi? Spojine: butanojska kislina, butil metil eter, pentan-1-ol, pentan-3-on, metil propanoat.
- Prikažite vodikovo vez med:
 - dvema molekulama etanola;
 - dvema molekulama metanojske kisline;
 - molekulama etanojske kisline in vode;
 - molekulama metil etanoata in vode;
 - molekulama propan-1-ola in vode;
 - molekulama propan-2-ona in vode;
 - molekulama propanala in vode;
 - molekulama dipropil etra in vode.

4.4 Eliminacija vode

- Kako z drugo besedo imenujemo eliminacijo vode?
- Napišite reakcijske sheme dehidriranja naslednjih alkoholov:

a) propan-1-ol;	c) butan-1-ol;
b) propan-2-ol;	č) butan-2-ol.

4.5 Nastanek etrov

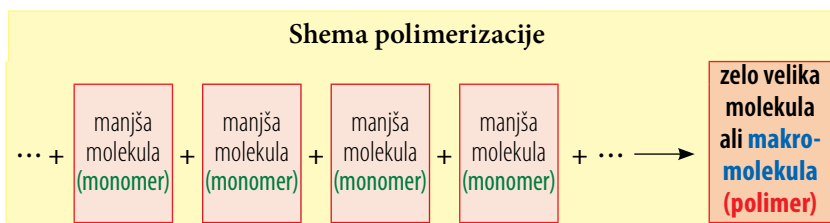
- Napišite reakcijsko shemo nastanka dimetil etra iz ustreznega alkohola.
- Navedite razlike v reakcijskih pogojih, ki vodijo v smer nastanka dietil etra ali etena (iz etanola).
- Prikažite reakcijsko shemo nastanka propil metil etra iz metanola in 1-bromopropana.

6.1 Adicijski polimeri

Kaj so polimeri in kako nastanejo?

Vrste polimerizacij

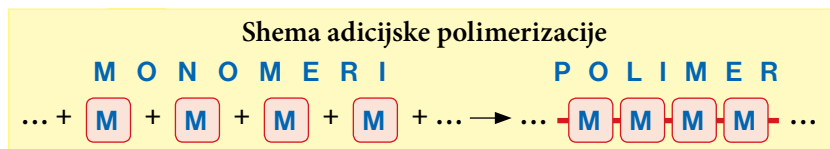
Polimerizacija je kemijska reakcija, pri kateri se več manjših molekul poveže v večjo molekulo (makromolekulo). Manjšo molekulo, ki se pri polimerizaciji poveže v makromolekulo, imenujemo **monomer** (grško *monos* – eden, *meros* – del). Makromolekulo, ki nastane pri polimerizaciji iz velikega števila manjših molekul, imenujemo **polimer** (grško *poly* – mnogo). Na ta način poudarimo, da je velika molekula – polimer – zgrajena iz velikega števila majhnih molekul – monomerov.



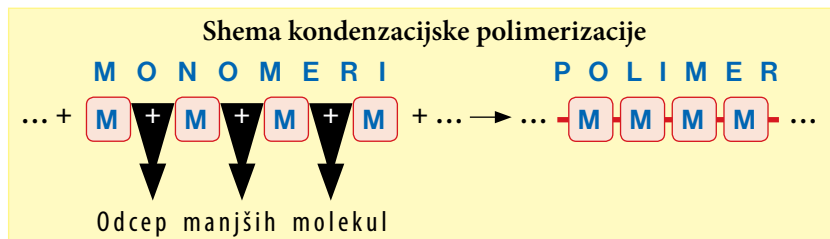
Poznamo dve osnovni vrsti polimerizacije:

- adicijska polimerizacija (poliadicija);
- kondenzacijska polimerizacija (polikondenzacija).

Adicijska polimerizacija (poliadicija) je značilna za nenasičene spojine (alkene in alkine) in je podobna adicijam. Pri adicijski polimerizaciji se monomeri (nenasičene spojine) zgolj povežejo v večjo molekulo, pri čemer se prekinajo multiple (dvojne, trojne) vezi v njihovih molekulah.



Za **kondenzacijsko polimerizacijo (polikondenzacijo)** je značilno, da se pri povezovanju monomerov v polimer **odcepi manjša molekula**, pogosto je to molekula vode.



V tem poglavju bomo obravnavali adicijsko polimerizacijo, v naslednjem poglavju pa še kondenzacijsko polimerizacijo.

Polimerizacija je kemijska reakcija, pri kateri se več manjših molekul (monomerov) poveže v večjo molekulo (polimer). Ločimo med adicijsko polimerizacijo in kondenzacijsko polimerizacijo.

Nekateri avtorji delijo polimere po izvoru na naravne polimere – biopolimere (nastanejo v organizmih) in sintetične polimere (umetno izdelani).

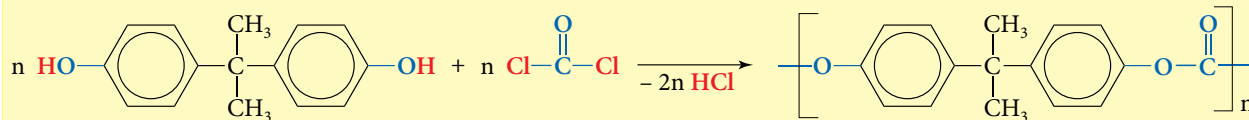
Najbolj znani naravni polimeri so beljakovine (polipeptidi), polisaharidi (npr. celuloza), kavčuk ter molekuli RNK in DNK. Mnoge naravne polimere uporabljamo v tekstilni industriji (svila, bombaž, volna).



Prvo plastiko (umetno izdelan polimer) je leta 1856 razvil angleški izumitelj *Alexander Parkes* (1813–1890). Imenoval ga je Parkesin, vendar na začetku zaradi slabe kakovosti ni bil uspešen. Ameriški izumitelj *John Wesley Hyatt* (1837–1920) je izboljšal postopek izdelave tega materiala in ga leta 1870 registriral pod imenom celuloid. Na začetku so ga uporabljali namesto veliko dražje slonovine (slonovih oklov) za izdelavo biljardnih krogel in klavirskih tipk, nekoliko kasneje pa še kot osnovo za fotografski in filmski trak idr. Celuloid se je veliko uporabljal ob koncu 19. in v prvi polovici 20. stoletja, kasneje pa so ga nadomestili sodobnejši materiali. V današnjem času je uporaba celuloida omejena predvsem na izdelavo žogic za namizni tenis.

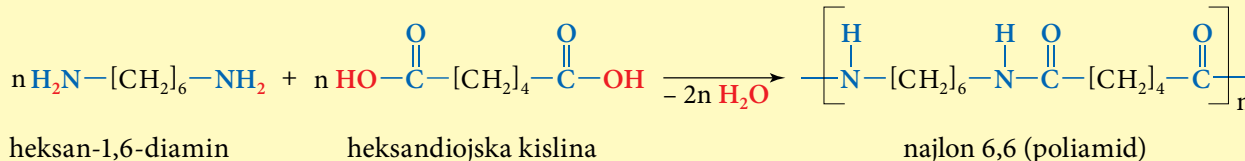
Oglejmo si reakcijsko shemo nastanka polikarbonata.

Nastanek polikarbonata s kondenzacijsko polimerizacijo

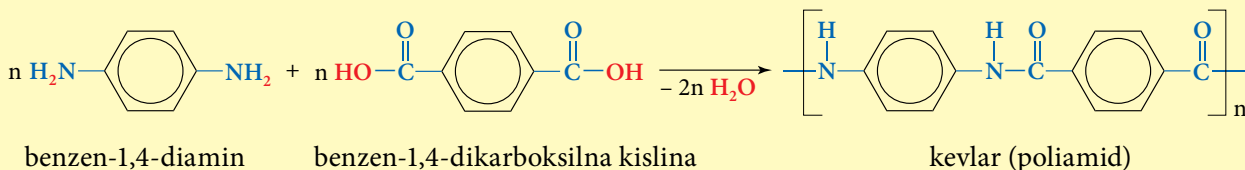


Oglejmo si še dva primera nastanka poliamidov iz različnih monomerov.

Nastanek poliamida »najlona 6,6« s kondenzacijsko polimerizacijo



Nastanek poliamida »kevlarja« s kondenzacijsko polimerizacijo



Najlon 6,6 je le eden od mnogih znanih umetnih poliamidov. Poleg splošno znane uporabe v tekstilni industriji (najlonke) uporabljamo najlon za izdelavo različnih izdelkov (vrvi, preproge idr.).

Za razliko od najlona pa so v strukturi kevlarja tudi benzenovi obroči. Kevlar se uporablja za izdelavo vojaških čelad, neprebojnih jopičev, zaščitnih oblek za gasilce (odporen je na višje temperature) idr. Vzrok izjemnih lastnosti kevlarja so vodikove vezi, ki povezujejo poliamidne verige v čvrsto plastovito strukturo.

Mnogi umetno narejeni polimeri so bolj odporni na zunanje vplive kot naravni polimeri, zato so tudi dlje časa obstojni in uporabni. Na žalost pa so zaradi svoje stabilnosti tudi težje razgradljivi v naravi. Njihov razkroj poteka zelo počasi. V ekološko razvitih državah ločeno zbirajo in reciklirajo tudi nekatere polimere. Zaradi njihove raznolikosti pa je ločevanje zamudno in drago. Večina polimernih odpadkov tako na žalost še vedno konča na odlagališčih ali pa jih zgolj sežgemo.

Na plastični embalaži običajno najdemo tudi znak za recikliranje (tri puščice zvite v zaobljeno trikotno obliko), znotraj katerega je napisana številka (mednarodno sprejeta koda za recikliranje), pod znakom pa črkovna oznaka polimera. Pogosto srečamo številke oz. oznake 01 (PET, glejte str. 157), 02 (PE-HD, str. 153), 03 (PVC, str. 154), 04 (PE-LD, str. 153), 05 (PP, str. 154) in 06 (PS, str. 155).

Tudi v Sloveniji smo že začeli z ločenim zbiranjem odpadkov. Vse več ljudi se zaveda nujnosti ločenega zbiranja in recikliranja odpadkov.

Za kondenzacijsko polimerizacijo je značilno, da se pri povezovanju monomerov v polimer odcepi manjša molekula. Med kondenzacijskimi polimeri so najpomembnejši poliestri in poliamidi.



Priložnostna švedska znamka. Leta 1963 je bila Nobelova nagrada za kemijo podeljena za odkritja na področju kemije in tehnologije polimerov.



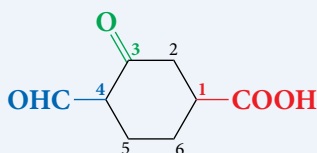
Iz videza embalaže ne moremo sklepati na vrsto uporabljenega polimera. Embalaže kozmetičnih izdelkov so narejene iz različnih polimerov (npr. PE, PP, PET).

Opis spojine: ciklična spojina z enojnimi vezmi med ogljikovimi atomi in različnimi kisikovimi in/ali dušikovimi funkcionalnimi skupinami

Napotek za imenovanje:

- med funkcionalnimi skupinami v spojini poiščem tisto, ki ima najvišjo prioriteto v skladu z zaporedjem (navedeni so splošni razredi spojin po padajoči prioriteti):
karboksilna kislina > kislinski anhidrid > ester > kislinski halogenid > amid > nitril > aldehid > > keton > alkohol > amin > eter;
- oštevilčim osnovni obroč ogljikovih atomov tako, da je funkcionalna skupina z najvišjo prioriteto vezana na obročni ogljikov atom s številko 1 (osnovni pogoj) in da imajo druge funkcionalne skupine čim manjša pozicijska števila (dodatni pogoj);
- imenujem osnovni obroč ogljikovih atomov in navedem ustrezno končnico za funkcionalno skupino z najvišjo prioriteto (po potrebi tudi položaj in število teh funkcionalnih skupin);
- druge skupine, ki so vezane na osnovni obroč ogljikovih atomov, imenujem s predponami (pozicijsko število, število enakih skupin, ime skupine) in jih v imenu spojine navedem po abecednem vrstnem redu (npr. »hidroksi« pred »metil« ne glede na ime morebitnega števnikar).

Primer 17:



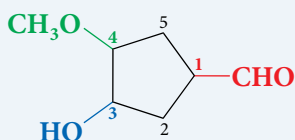
4-formil-3-oksocikloheksan-1-karboksilna kislina

Funkcionalna skupina z najvišjo prioriteto: $-\text{COOH}$

Osnovni obroč s končnico:
cikloheksan-1-karboksilna kislina

Popolna predpona: 4-formil-3-okso

Primer 18:



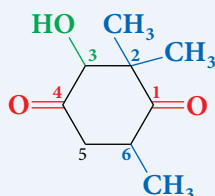
3-hidroksi-4-metoksiciklopentan-1-karbaldehid

Funkcionalna skupina z najvišjo prioriteto: $-\text{CHO}$

Osnovni obroč s končnico: ciklopentan-1-karbaldehid

Popolna predpona: 3-hidroksi-4-metoksi

Primer 19:



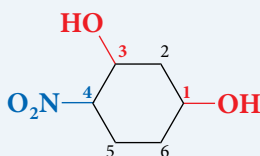
3-hidroksi-2,2,6-trimetilcikloheksan-1,4-dion

Funkcionalna skupina z najvišjo prioriteto: $>\text{C}=\text{O}$

Osnovni obroč s končnico: cikloheksan-1,4-dion

Popolna predpona: 3-hidroksi-2,2,6-trimetil

Primer 20:



4-nitrocikloheksan-1,3-diol

Funkcionalna skupina z najvišjo prioriteto: $-\text{OH}$

Osnovni obroč s končnico: cikloheksan-1,3-diol

Popolna predpona: 4-nitro